



# **Ruttanalys av en tvådelad fordonsflotta bestående av HCT och konventionella rundvirkeslastbilar**

*Route analysis of a two-parted vehicle fleet with HCT and conventional roundwood trucks*

**Rickard Näslund**

**Arbetsrapport 6 2017  
Examensarbete 30hp A2E  
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:  
Dan Bergström**



# **Ruttanalys av en tvådelad fordonsflotta bestående av HCT och konventionella rundvirkeslastbilar**

*Route analysis of a two-parted vehicle fleet with HCT and conventional roundwood trucks*

**Rickard Näslund**

Nyckelord: 74-tonsfordon, ST-lastbilar, större travar, logistik, RuttOp

Arbetsrapport 6 2017

Jägmästarprogrammet

EX0772, A2E

Examensarbete i skogshushållning vid Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, 30hp

Handledare: Dan Bergström, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Biträdande handledare: Björn Edlund, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Extern handledare: Victor Asmoarp, Skogforsk

Examinator: Dimitris Athanassiadis, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

---

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2017

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

## Förord

Detta arbete är ett examensarbete utfört vid institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå och motsvarar 30 högskolepoäng.

Jag vill först och främst tacka Skogforsk för möjligheten att utföra detta arbete och till Victor Asmoarp på Skogforsk för ypperlig handledning och engagemang under hela arbetets gång, samt Patrik Flisberg för hans kunskap om optimering.

Jag tackar Karl Narfström och Hanna Kipatsi hos VSV Frakt AB för deras gästvänlighet och bidrag av information.

Slutligen vill jag tacka min handledare Dan Bergström för utomordentlig hjälp att skriva ett bra arbete, samt Björn Edlund för givande diskussioner och hans sakkunskaper.

Umeå i februari

*Rickard Näslund*

## Sammanfattning

En förutsättning för handelns och industrins utveckling är välutvecklade och kostnadseffektiva transporter. Detta är även viktigt för att uppnå de uppsatta klimatmålen i Sverige. Ett led i detta är införandet av lastbilar med högre bruttovikt, s.k. High Capacity Transport (HCT-fordon). De största begränsande faktorerna för HCT-fordon är enligt Trafikverket broar och vägar med bristande konstruktion, dvs som inte klarar av bruttoviktshöjningen. P.g.a. infrastrukturens begränsningar kom en ny bruttoviktklass som tillåter en bruttovikt på 74 ton (BK4). BK4-vägnätet kommer att vara begränsat till de vägar och broar som Trafikverket anser klara belastningen.

Syftet med denna studie var att analysera 1) hur en tvådelad fordonsflotta med 74-tonsfordon och konventionella rundvirkeslastbilar med olika tillgängligheter på vägnätet påverkar varandras ruttmöjligheter, samt 2) hur ett begränsat BK4-vägnät påverkar 74-tonsfordon med avseende på ekonomi och miljöbelastning.

Tre olika BK4-vägnät, Trafikverkets och två utökade, optimerades med olika andel 74-tonsfordon. Som referenssystem optimerades flottor innehållandes enbart 64- och 74-tonsfordon. Optimeringen genomfördes under en tidsperiod av två efterföljande veckor.

Analyserna visar att Trafikverkets BK4-vägnät kan ge stora begränsningar för 74-tonsfordonens ruttmöjligheter. Det kan ge upp till 2,0% högre kostnader och 5,6% högre koldioxidutsläpp än en konventionell 64-tonsfordonsflotta. Ett scenario med utökat begränsat BK4-vägnät ger upp till -1,1% minskade kostnader och -1,0% minskade koldioxidutsläpp. Om andelen 74-tonsfordon är för hög, för det gällande BK4-vägnätet, kan det dock ge motsatt effekt. Därför är det viktigt att andelen 74-tonsfordon är väl avvägt med gällande BK4-vägnät. Utökade analyser som beaktar andra regioner och förhållanden är nödvändiga för att kunna generalisera resultaten.

**Nyckelord:** 74-tonsfordon, ST-lastbilar, större travar, logistik, RuttOpt

## Abstract

For trade and industry development is it important with well-developed and cost-effective transportation. This is also important for Sweden to achieve the climate targets. A contribution to this is utilization of vehicles with higher gross weight, so-called High Capacity Transport (HCT-vehicles). The main limits of HCT-vehicles, according to Trafikverket, are bridges and roads with poor construction that cannot handle the gross weight increase. Because of the infrastructure limitations, a new gross weight class which allows a gross weight of 74 tonnes (BK4) is required. The new BK4-road network will be limited to the roads and bridges that Trafikverket believes withstand the gross weight increase.

The purpose of this study was to analyse 1) how a two-parted vehicle fleet with 74-tonne vehicles and conventional roundwood trucks with different availabilities on the road network affect each other's route opportunities, and 2) how a limited BK4-road network affects the 74-tonne vehicle regarding economic and environmental aspects.

Optimization of three different BK4-roads, Trafikverkets and two expanded, was analysed with various rate of 74 tonnes vehicles. Optimizations with only 64- and 74-tonne vehicle was made as reference cases. The optimization was done in two subsequent weeks.

Analysis show that Trafikverket BK4-road network give great limitations in routing capabilities for 74 tonne vehicles. It can give up to 2,0% higher costs and -1,0% higher carbon emissions than of a conventional 64 tonne vehicle fleet. A more extended limited BK4-road network provides up to -1,1% reduced costs and -1,0% reduced carbon emissions, but if the proportion of 74 tonnes vehicles is too high for the current BK4-road network, it can have the opposite effect. Therefore, is it important that the rate of 74 tonnes vehicles is balanced with current BK4-road network. Extended analysis which observe other regions and situations is required to generalize the results.

**Keywords:** 74 tonnes vehicles, ST trucks, bigger stacks, logistic, RuttOpt

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.1.1	Lastbilstransporter .....	1
1.1.2	ETT-projektet .....	1
1.1.3	Bärighetsklasser.....	2
1.1.4	Trafikverkets analyser och planer för tyngre lastbilar.....	2
1.1.5	Aktuellt läge .....	3
1.2	Tidigare studier .....	3
1.3	Motivation för studien .....	5
1.3.1	Syfte.....	5
1.4	Avgränsningar.....	5
2	Material och metoder.....	6
2.1	Teori för vald metodik .....	6
2.1.1	Fallstudie .....	6
2.1.2	Definition av optimering .....	6
2.1.3	Lösningsmetodik .....	6
2.1.4	RuttOpt .....	7
2.1.5	Heuristik och Tabusökningsheuristik.....	8
2.1.6	Beskrivning av fallen.....	8
2.1.7	Vägnät.....	9
2.1.8	Insamling av data.....	10
2.1.9	Bearbetning av data .....	11
2.1.10	Inmatning till RuttOpt .....	12
2.1.11	Resultat från RuttOpt.....	13
2.1.12	Beräkning av nyckeltal .....	14
2.1.13	Resultatets validitet .....	15
3	Resultat .....	16
3.1.1	Resursutnyttjande .....	16
3.1.2	Kostnadsjämförelser .....	18
3.1.3	Analys av koldioxidutsläppen .....	19
3.1.4	Lastkörningsgrad och total körd sträcka.....	19
4	Diskussion .....	22
4.1	Resultat .....	22
4.1.1	Ej genomförda lass .....	22
4.1.2	Resursutnyttjande .....	22

4.1.3	Kostnadsjämförelser, lastkörningsgrad och koldioxidutsläpp.....	23
4.1.4	Övriga reflektioner .....	24
4.2	RuttOpt.....	25
4.3	Jämförelse mot tidigare studier .....	25
4.4	Fortsatta studier.....	26
4.5	Slutsatser .....	26
	Litteraturförteckning.....	27
	Personlig kommunikation.....	28
	Bilaga 1 Körd sträcka lastad och olastad per fordonstyp och fall .....	29
	Bilaga 2 RuttOpt formler .....	31



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

### 1.1.1 Lastbilstransporter

Under 2015 utgjorde rundvirkestransporter med lastbil cirka 10% av Sveriges totala inrikes transportarbete med lastbil. Totalt fraktades virke cirka 100 miljoner km på Sveriges vägnät (Trafikanalys, 2015). Transporten uppgår till cirka 25% av kostnaden för rundvirket (Löfroth, et al., 2005). Rundvirket som transporteras ligger från början på avlägg vid välgkant ute i skogen och transporteras därifrån till en virkesterminal eller direkt till industrin. År 2014 transporterades skogsråvara från cirka 263 000 unika avlägg (Asmoarp & Davidsson, 2016). En förutsättning för handelns och industrins utveckling är välutvecklade och kostnadseffektiva logistik- och godstransportsystem. Ett kostnadseffektivt och välutvecklat logistik- och godstransportsystem blir även samhällsekonomiskt positivt om fordonen kan lasta mer gods, som i sin tur innebär färre transporter och en minskning av trafikarbetet. Med välutvecklade och kostnadseffektiva logistik- och godstransportsystem minskar dessutom de externa kostnader såsom mindre vägslitage, luftföroreningar, koldioxidutsläpp och olyckor kan minskas. De svenska transportpolitiska målen ska säkerställa en samhällsekonomisk effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet (Natanaelsson & Ngo, 2015).

En del av Sveriges klimat- och energipolitiska mål till år 2020 är att energianvändningen ska vara 20% effektivare jämfört med nivån 2008 och 40% av utsläppen av klimatgaser ska reduceras jämfört med 1990-års nivå. Riksdagen har dessutom ställt sig bakom visionen om att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser år 2050 (Miljö- och energidepartementet, 2016). För att nå det transportpolitiska hänsynsmålet ska transportsektorn öka energieffektiviteten och nå ett brutet fossilberoende. År 2030 bör Sverige ha en fordonsflotta som är oberoende av fossila bränslen (Trafikverket, 2016). Trafikverket och samarbetspartners arbetar tillsammans för att nå dessa mål. Bland annat arbetas det med att fordon ska öka användningen av energieffektiva lösningar i form av längre och tyngre fordonskombinationer, s.k. High Capacity Transports (HCT), än de som generellt tillåts på det svenska vägnätet idag (år 2016). Trafikverket verkar dessutom för att klimatmålen integreras i den långsiktiga planeringen av transportsystemet och i den kortsiktiga planeringen av bil- och järnväg (Trafikverket, 2012). För att åstadkomma energieffektiva lösningar för att nå klimatmålen har Johansson & Eklöf (2015) publicerat ett kunskapsunderlag till trafikverket där de bland annat har kommit fram till att: fyllnadsgrad och ruttoptimering bland tunga fordon ska öka så att det leder till 10% effektivare fjärrtransporter och att hälften av alla rundvirkestransporter och cirka 15% av övriga fjärrtransporter ska ske med fordon med högre nyttolast och längre fordon.

### 1.1.2 ETT-projektet

I Skogforsks ETT-projekt har tyngre, längre och energieffektiva lastbilstransporter testats, så kallade HCT lastbilar. "ETT" står för En Trave Till och det syftar på att längre fordon med högre bruttovikt kommer kunna ta med sig ytterligare en 6 meter lång virkestrave. ETT-projektet kompletterades senare med ett delprojekt med namnet "Större Travar" (ST), där kombinerades lastbilarna på sådant sätt att de kan öka den transporterade nyttolasten

men samtidigt inte bli längre eller gå över de rådande bestämmelserna för axeltryck. De flesta av dagens ETT-lastbilar har en bruttovikt på 90 ton och fordonslängden är upp till 30 m. ST lastbilarna håller bruttovikten på max 74 ton och är inte längre än 25,25 meter (Löfroth & Svenson, 2010).

### **1.1.3 Bärighetsklasser**

Det finns idag 3 bärighetsklasser för det svenska vägnätet. BK1 som innebär en högsta bruttovikt på 64,0 ton, BK2 som innebär en högsta bruttovikt på 51,4 ton och BK3 som innebär en högsta vikt på 37,0 ton (SFS 1998:1276). Utöver dessa 3 bärighetsklasser föreslår Transportstyrelsen att definitionen av beteckningen bärighetsklass ändras till att ytterligare omfatta ytterligare en bärighetsklass, kallad bärighetsklass 4 (BK4). Den nya bärighetsklassen ska tillåta upp till 74 tons bruttovikt (Transportstyrelsen, 2014).

### **1.1.4 Trafikverkets analyser och planer för tyngre lastbilar**

Den större delen av vägarna kommer att klara av belastningen från fordon med en bruttovikt uppåt 74 ton på ett sätt som inte skadar vägarna, givet att axeltrycken inte ökar, speciellt de redan idag högtrafikerade vägarna. På basis av de teoretiska grunder som finns och med ett litet empiriskt underlag har Natanaelsson & Ngo (2015) kommit fram till att de lägre trafikerade delarna av vägnätet med dess äldre och svagare konstruktion och sämre beläggning kommer att skadas. Dessa vägar kommer att behöva större underhållsåtgärder och utsättas för större slitage med risk för sönderkörningar om tyngre lastbilar skulle tillåtas att använda hela vägnätet. Däremot finns det redan idag stora åtgärdsbehov relaterade till bärighet på vägnätet med den trafik den belastas av idag. Det har däremot inte identifierats nya bärighetsrelaterade brister på vägnätet, förutom att de svagare delarna påverkas snabbare eller allvarigare jämfört med dagens belastning (Natanaelsson & Ngo, 2015).

Den största begränsade faktorn för att transportera med högre axel- och bruttovikter är de broar som inte uppfyller kraven i ett BK4 vägnät, och som behöver förstärkningsåtgärder. Det statliga brobeståndet består av allt från moderna välbyggda broar till broar som byggdes redan på 1700-talet. De flesta av de äldre broarna har idag förstärks för att klara av dagens trafik men än idag finns det broar på de viktigaste vägarna för näringslivet som bara är upplåtna för BK2. Trafikverkets utvärdering på hela det svenska BK1-vägnätet visar att 976 broar behöver åtgärdas för att kunna uppgraderas till BK4. Sammantaget för att upplåta hela BK1-vägnätet kan komma att kosta cirka 15,4 miljarder kronor (Natanaelsson & Ngo, 2015).

Trafikverket föreslår att man i ett första steg upplåter ett mycket begränsat vägnät för BK4. Storleken på det vägnät som kan användas för BK4 kan variera stort över landet då förutsättningarna ser väldigt olika ut beroende på region. Det finns en risk att vägnätet blir så begränsat på vissa ställen att det inte skulle bli användbart för de tyngre lastbilarna. I de fallen kommer Trafikverket överväga att inte upplåta ett BK4-vägnät (Natanaelsson & Ngo, 2015).

Trafikverket föreslår att en gradvis utbyggnad för det begränsade vägnätet i första hand sker på ett huvudvägnät och på prioriterade vägnät i skogslänen, Värmland, Dalarna och norrlandslänen. Vid en jämnt fördelad satsning som Trafikverket föreslår skulle det ta 12 år innan strax över 60% av bristerna i brokonstruktioner och uppemot 50% av brister i vägkonstruktioner på ett utpekat strategiskt vägnät skulle vara upprustat för BK4. I den

takten skulle det ta cirka 24 år att uppnå det långsiktiga målet att upplåta hela nuvarande BK1-vägnät för BK4. Eftersom att det kommer att ta tid innan hela BK1-vägnätet är upplåtet för BK4 anser Trafikverket att det är av största vikt att få ut så stor nytta som möjligt av varje investerad krona. De framtida utbyggnadsplanerna föreslås därför arbetas fram i samverkan med de delar av näringslivet som har störst potentiella nyttor av ett framtida BK4-vägnät. Skogsnäringen har därmed en viktig roll i de prioriterade skogslänen (Natanaelsson & Ngo, 2015).

### **1.1.5 Aktuellt läge**

Regeringen anser (år 2016) att det gods som behöver gå på väg ska transporteras så klimatsmart som möjligt och utan andra negativa effekter på samhällsekonomin. Det de värdesätter med 74-tons lastbilar är att färre lastbilar kommer att behövas för transportarbetet, vilket innebär en effektivisering av transporterna, likaså att det leder till mindre utsläpp. Därför har regeringen beslutat om en lagsremiss som kommer möjliggöra trafik med 74-tons lastbilar på delar av vägnätet. Trafiken med 74-tonsfordon väntas kunna starta i mars 2017 (Svenska Dagbladet, 2016).

Regeringen anser att ett upplåtande av ett BK4 vägnät ska ske under vissa villkor: De totala klimat- och miljöeffekterna måste bli positiva och regeringens ambition att flytta över gods från väg till järnväg och sjöfart får inte åsidosättas. Upplåtandet måste också ske med bibehållande av dagens höga säkerhetsnivå i linje med Nollvisionens målsättningar. Det måste också ske på ett ansvarsfullt sätt så att infrastrukturens framtida värden inte riskeras (Johansson & Ragell, 2016).

Den 15 november 2016 redovisades ett förslag från Trafikverket till ett begränsat BK4 vägnät. Förslaget är baserat på de identifierade transportbehoven för näringslivet och har därefter anpassats mot infrastrukturens förutsättningar samt mot de direktiv de har fått i uppdraget. Den totala längden på det föreslagna vägnätet är 800 mil i fem olika geografiska områden i landet. Det motsvarar cirka 8% av det statliga vägnätets totala längd och cirka 17% av den totala väglängden i de berörda länen. Vägnätet är framtaget med beaktande av att infrastrukturen ska klara belastningen utan att det framtida vägkapitalet riskeras. Det innebär att inga direkta förstärkningsåtgärder behövs för det framtagna vägnätet. Risker för överflyttningseffekter från sjö- och järnvägstransporten har tagits hänsyn till i varje region (Natanaelsson & Ngo, 2016).

## **1.2 Tidigare studier**

Det finns många olika studier om HCT-lastbilarnas olika egenskaper, i denna del tas en del studier upp som är relevant för denna studie.

I Andersson & Frisk (2013) genomfördes analyser på transportavstånd, transportarbete och emissioner för 2010 års virkesflöden. I arbetsrapporten kom man bland annat fram till att: för att transportera skogsråvaran används hela Sveriges vägnät; 96% av allt transportarbete skedde på allmän väg och 4% på enskild väg. Om svenskt skogsbruk skulle övergå helt till HCT-fordon för deras rundvirkestransport istället för konventionella lastbilar kan antalet transporter minska med 25% och mängden koldioxidutsläpp sjunka med 12 %. Denna analys på HCT-fordon utgick från att 30% av flottan skulle bestå av ETT-lastbilar och 70% skulle bestå av ST-lastbilar och att de konventionella lastbilarna hade en bruttovikt på 60 ton.

I Asmoarp et al. (2013) studerades skillnaderna i bränsleförbrukningen för ett 74-tonns rundvirkesfordon med kran mot en konventionell 60 tons rundvirkeslastbil med kran. Studien kom fram till att ett 74-tonnsfordon kan sänka bränsleförbrukningen i medeltal med 6,9–7,8% för ett 74-tonnsfordon mot en konventionell 60 tons rundvirkeslastbil.

I Finland har införandet av HCT-lastbilar kommit längre än i Sverige. Där finns ett redan godkänt vägnät och kartstöd för att använda HCT-lastbilar. I studien Laitila et al. (2016) kommer de fram till att det är både kostnadseffektivare och energieffektivare att använda HCT-fordon istället för de konventionella 60-tonslastbilarna som används för att transportera skogsindustriprodukter och skogsbränslen. Analysen hade gjorts på de lastbilar som används i Finland, vilket är 69- och 76-tonslastbilar. 69-tonsfordonen var det bästa alternativet vid användandet av material som inte var begränsande för nyttovikten av materialets bulkvikt, som t.ex. gransågspån. Med tyngre material (högre densitet) var det bäst att använda 76-tonslastbilarna.

I Löf (2015) genomfördes en fallstudie för att undersöka hur införandet av tyngre lastbilar på 74 ton påverkar andelen timmer- och massavedstransporter som sker med tåg samt hur ett införande skulle påverka totala transportkostnader och koldioxidutsläpp. Analyserna utgick från tre olika scenarion/frågeställningar:

- I. Hur skulle införandet av 74-tonsfordon påverka andelen transporter som sker med tåg?
- II. Kan införandet av 74-tonsfordon ge lägre transportkostnader för ett kombinerat tåg- och lastbilssystem än det befintliga systemet med tåg och 60 tons lastbilar?
- III. Kan införandet av 74-tonsfordon ge lägre koldioxidutsläpp för ett kombinerat tåg- och lastbilssystem än det befintliga systemet med tåg och 60 tons lastbilar?

I studien användes FlowOpt som optimeringsverktyg vilket används för att optimera flödesplaneringen av rundvirke. Verktyget har utvecklats för att förenkla och förbättra planering och analys av virkesflöden. Det kan användas för att analysera flöden från enstaka månader till hela år och är tänkt att användas för strategiska och taktiska planeringshorisonter (Rönnqvist, et al., 2005).

I Löf (2015) blev slutsatsen att ett införande av 74-tonsfordon marginellt minskar andelen transporter som sker med tåg men inte vara ett hot mot användningen av järnvägen. Införandet skulle ge positiva effekter på både transportkostnader och utsläpp samt att det svenska vägnätet är bäst anpassat för att utnyttja både 60 och 74 tons lastbilar.

I scenario två lät han optimeringsverktyget FlowOpt själv välja den för studiens geografi minst kostsamma fordonsflotta med både 60- och 74-tonsfordon. Restriktionerna för 74-tonsfordonen var att de bara fick köra på BK1-vägar medan 60-tonsfordonen fick köra på alla vägar. I det scenariot skedde transporter till 5% med 60-tonsfordon, 67% med 74-tonsfordon och 28% skedde med tåg. I scenario tre sattes en stor straffavgift på 60-tonsfordonen för att transporter enbart skulle ske med den fordonstypen om det var tvunget. De var ändå tvungna att användas för att kunna köra på de lägre bärighetsklasserna. Då skedde 3% av transportererna med 60-tonsfordon, 68% av 74-tonsfordonen och 30% med tåg.

### *1.3 Motivation för studien*

På grund av trafikverkets planer att i första hand upplåta ett ytterst begränsat BK4-vägnät för 74-tonsfordon kan den ekonomiska och miljömässiga nytta ett tyngre fordon ger helt försvinna. För att kunna frakta gods med tyngre fordon måste de på vissa sträckor antingen välja en inoptimal resväg, eller tvingas sänka lastfyllnadsgraden för att inte överstiga 64 ton. Med tanke på att hela Sveriges vägnät används för att transportera rundvirke kan ett för begränsat BK4-vägnät minska eller till och med radera de fördelar tyngre rundvirkeslastbilar medför.

#### **1.3.1 Syfte**

Syftet med detta examensarbete är att analysera hur en tvådelad fordonsflotta med 74-tonsfordon och konventionella rundvirkeslastbilar med olika tillgängligheter på vägnätet påverkar varandras ruttmöjligheter. Samt hur ett begränsat vägnät påverkar 74-tonsfordon med avseende på ekonomin och dess miljöbelastning.

### *1.4 Avgränsningar*

Inom denna studie kommer det geografiska området för transportörernas hemmabaser att begränsas till Värmlands län, nordvästra Västra Götalands län, Dalarnas län och Örebro län. Den kommer att begränsa sig till att göra samkörningar med 24 lastbilar och under två veckor. De fordonstyper som kommer att användas är enbart 64-tonsfordon med kran och 74-tonsfordon med kran och inte fordonstyper med andra bruttovikter. Studien tar inte hänsyn till att ett 74-tonsfordon får köra på BK1-vägnätet lastade till 64 ton, dock tas hänsyn till att de får köra olastat på alla vägar. 74-tonsfordonen är i alla fall, förutom fallet 74-tonsfordon, i lastat tillstånd tvingade till det för fallet valda BK4-vägnätet.

## 2 Material och metoder

Studien utfördes i följande delsteg, i kronologisk ordning:

1. Ett studieområde definierades med 24 lastbilar. Information för respektive lastbils transporter togs fram för en sammanhållande tvåveckorsperiod.
2. Utöver Trafikverkets förslag togs två olika utökade BK4-vägnät fram.
3. Indatat från de tidigare stegen bearbetades och sammanställdes med variabler för flera olika fall. Varefter de olika fallen optimerades i RuttOpt.
4. Resultaten för de olika fallen jämfördes genom att beräkna med för studien intressanta nyckeltal.

### 2.1 Teori för vald metodik

#### 2.1.1 Fallstudie

Denna studie gjordes under ett bestämt tidsintervall och med för det tidsintervallets unika förutsättningar. I och med den avgränsningen var det lägligt att studien baserades på en fallstudie. Fallstudier är ofta mycket användbar i de flesta vetenskapliga undersökningar. Ett syfte med en fallstudie är att ta en liten del av ett stort förlopp och med hjälp av fallet ifråga representera verkligheten. Fallstudien visar då ett utfall med de förutsättningar som fanns under exempelvis en utvald period med ett visst geografiskt område. Vinsten med detta tillvägagångssätt är att studien inte behöver ge sig in i den stora beskrivningen utan kan på ett begränsat utrymme ändå ge en uppfattning om hur vissa utfall blir beroende på olika variabler. Svårigheten är att ett ensamt fall aldrig kan representera verkligheten fullt ut. Det betyder att man måste vara försiktig med de slutsatser som dras. Slutsatserna kan ses som indicier och får kanske värde först när det finns andra tecken som pekar åt samma håll (Ejvegård, 2009).

#### 2.1.2 Definition av optimering

Att optimera är att bestämma bästa möjliga värden på variablerna mot det mål som specificeras i ett problem. Målet uttrycks med hjälp av en målfunktion som beror av variablerna som ska maximeras eller minimeras. Begränsningarna i valet av värden ges av ett antal bivillkor. I optimering finns alltid faktorer som av olika skäl inte kan eller bör inkluderas i modellen. Det gäller att identifiera vad som är det väsentliga i problemställningen, vad som är irrelevant eller försumbart, vilken ambitionsnivå optimeringsmodellen ska ha och därefter göra lämpliga avgränsningar och förenklingar. En förutsättning för att kunna använda optimeringsmodeller är att parametrarna för ett problem kan kvantifieras. Ett problem ska kunna beskrivas och formuleras matematiskt som en optimeringsmodell i termer av variabler, målfunktion och bivillkor. Förenklingar för en modell ska göras så att detaljnivån och komplexiteten blir rimlig men samtidigt ge en rimlig validitet (Lundgren, et al., 2008).

#### 2.1.3 Lösningsmetodik

I denna studie användes optimering för att kvantifiera skillnader i ruttmöjligheter beroende på BK4-vägnätets tillgänglighet. För att ändra dessa för studien intressanta variabler och få ut ett resultat för respektive fall är Skogforsks verktyg RuttOpt ett alternativ att använda för att påvisa eventuella skillnader mellan olika fall.

### 2.1.4 RuttOpt

RuttOpt är ett beslutsstödsystem som är utvecklat av Skogforsk för att kunna schemalägga rundvirkeslastbilar för den svenska skogsindustrin. Den är uppbyggd med flera delar. Den första delen är NVDB som är den svenska vägdatabasen med information om alla allmänna, enskilda och kommunägda vägar i Sverige. För transporter på skogsbilvägar används ett tillägg som tillhandahålls från SDC vilket skapar den svenska skogliga nationella vägdatabasen (SNVDB). Det lägger till vägarnas tillgänglighet, svängradier, bommar etc. Den innehar även en funktion som räknar ut distansen mellan olika platser med hjälp av verktyget ”Krönt Vägval” (Andersson, et al., 2007).

”Krönt vägval” är ett system som Skogforsk har utvecklat på uppdrag för SDC sedan 2009. Systemet räknar objektivt fram avståndet för den bästa vägen mellan avlägg och inmättningsplats. Det avståndet används också för att fastställa ersättningen till åkaren i fler än hälften av alla virkestransporter idag. ”Krönt Vägval” tar inte alltid den kortaste vägen till mottagaren utan den utgår från olika parametrar som till exempel vägklass, vägbredd, antalet backar och kurvighet för att få fram den mest effektiva ruttvägen för virkeslastbilar (Svenson, 2015).

RuttOpts inre databas består av ett flertal olika variabler som kan ändras beroende på situation som ska lösas. Den inre databasen består av följande variabler:

**Geografiska noder** – Koordinater för virkeslagret, mottagningsplatser och hemmabaser.

**Lastbil** – Fordonstyp, hemmabas, prioritet, arbetsschema, timkostnad och kostnaden per kilometer lastad och olastad, kapacitet, lastning och avlastningstid och hastighet för varje vägtyp.

**Lastare** – tillgänglighet, tidsfönster, lastning och avlastningstid.

**Virkeskällor** – Nod-ID, sortiment och volym.

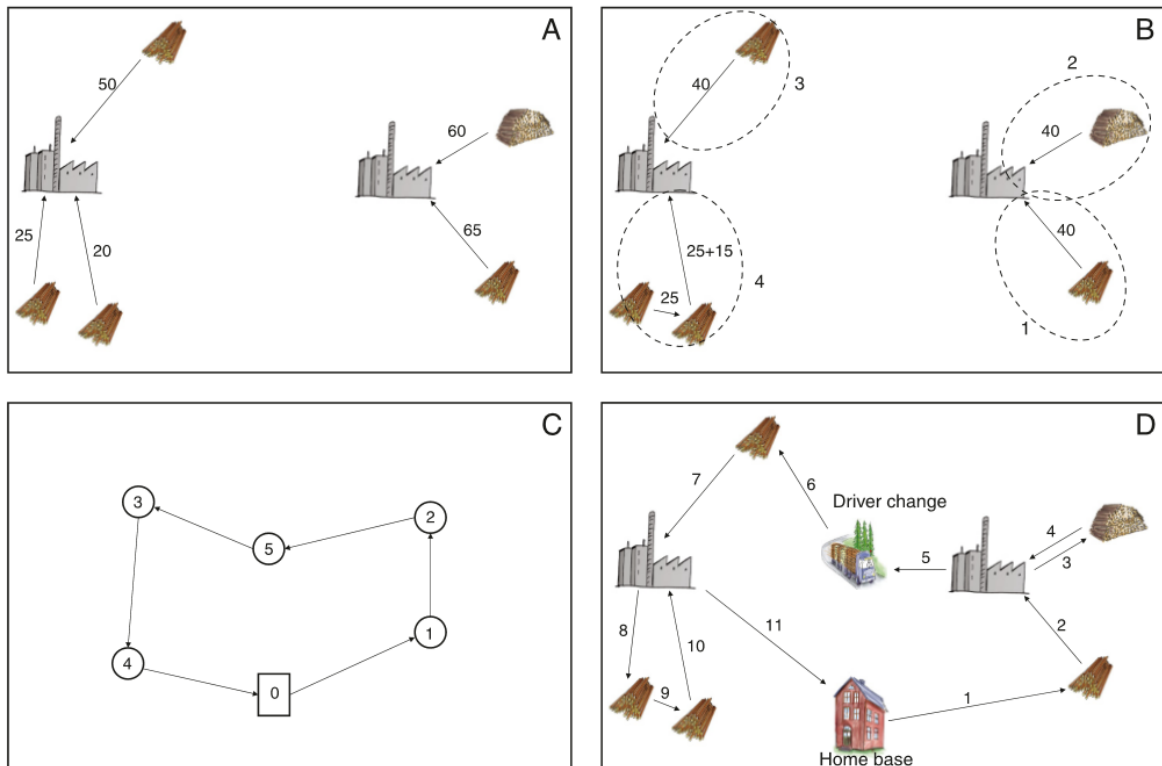
**Tillgängliga virkeskällor** – Den tillgängliga källan för varje lastbil.

**Orderkvantitet** – Nod-ID, sortiment, min och max volym (ackumulerat per tidsperiod) för varje mottagningsplats.

**Avlastning** – Tidsåtgången för volymmätning och avlastning för varje mottagningsplats.

RuttOpt använder en utökad tabusökningsheuristik (se 2.1.5) och linjär programmering med syfte att minimera den totala kostnaden för varje fordon för att lösa ruttplaneringsproblemet för en enskild vecka. Lösningen görs i två faser. Den första fasen löses i två steg där det i första steget löses ett destinationsproblem som hittar möjliga rutter mellan upphämningsplatser och mottagningsplatser, se figur (1) bild A. Det steget formuleras som ett LP-problem. I det andra steget konstrueras så kallade transportnoder. Då konstrueras alla möjliga fullastade rutter som representerar en upphämtning och en leverans. En transportnod visar de möjliga upphämningsplatserna och mottagningsplatser för ett lastbilsclass, se figur (1) bild B. Detta görs med en MIP-modell (Mixed Integer Programming). I fas två används en utökad tabusökningsheuristik för att hitta en lösning på ruttplaneringsproblemet. Det görs genom att ett ruttplaneringsproblem med tidsfönster (VRPTW-problem) löses med EUTSA, se figur (1) bild C. EUTSA är koden för den utökade tabusökningsheuristiken vilket är en utökad version av UTSA som är utvecklad av Cordeau et al. (2001). UTSA är en kod som löser ett standard VRP, ett standard VRP har endast en lastningsplats som ett antal rutter börjar och slutar på, därför behövs en utökad version av UTSA för att lösa studiens ruttplaneringsproblem. Resultatet från RuttOpt kontrolleras manuellt

genom exempelvis Gant-scheman, se figur (1) bild D (Andersson, et al., 2007). I Bilaga (2) finns optimeringsmodellen som användes i RuttOpt.



**Figure 1.** Beskrivning av RuttOpts tvåfasmetod. (A) lösning av destinationsproblemet; (B) konstruktion av transportnoder; (C) ruttbestämning av transportnoderna; (D) den faktiska rutten (Andersson, et al., 2007).

**Figure 1.** Description of the RuttOpts two-phase method. (A) Solution of the flow problem; (B) construction of transport nodes; (C) routing of transport nodes; (D) actual route (Andersson, et al., 2007).

### 2.1.5 Heuristik och Tabusökningsheuristik

Transportproblem är komplexa att lösa och kan ta lång tid att lösa med tanke på alla variabler som ska tas hänsyn till. Det kan då innebära att optimeringen inte finner det högsta optimumet inom en rimlig lösningstid. Det är då heuristiker kan vara bra som metod, då den metoden avgränsas till att hitta en tillräckligt bra lösning under en begränsad lösningstid. För att då lösa ruttplaneringsproblem kan tabusökningsheuristik implementeras. Det innebär att en lokal sökningsmetod ges tillåtenhet att stega i en riktning mot lösningar som kan ge ett sämre målfunktionsvärde än en aktuell lösning, detta för att förflytta sig från ett eventuellt lokalt optimum till ett bättre globalt optimum. För att göra det har tabusökningsheuristiken ett kort och ett långt minne som ser till att lösningen inte återgår till det tidigare lokala optimumet (Lundgren, et al., 2008).

### 2.1.6 Beskrivning av fallen

De variabler som ändrades mellan varje fall var valet av fordonstyp och vilket vägnät som var tillgängligt för respektive fordonstyp. Här nedan kommer de fall som analyserades med varje ändrad variabel för ruttoptimeringen. Varje optimering gjordes separat för både vecka 1 och 2:



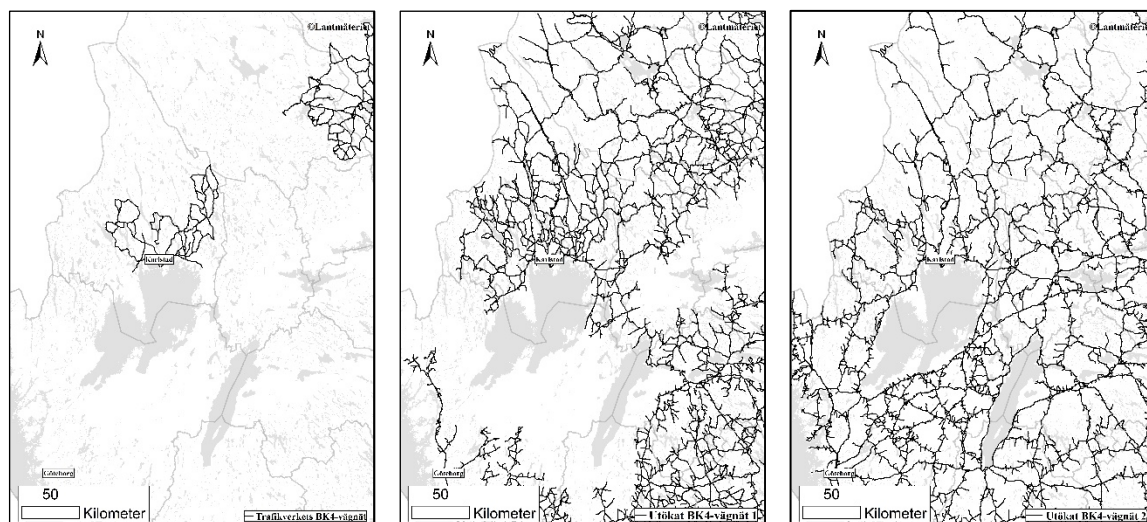
1. I detta fall används bara 64-tonsfordon och de kan köra på hela BK1, BK2 och BK3-vägnätet. Fallet är tänkt att återspegla om optimeringen bara hade körts på de idag konventionella lastbilarna och kommer att användas för referens mot de andra scenarierna.
2. I detta fall används enbart 74-tonsfordon och de kan köra på BK1, BK2 och BK3-vägnät. Detta scenario är tänkt att avspegla den eventuella maxpotential som uppstår genom att bara använda 74-tonsfordon och för att se den eventuella skillnaden ett begränsat vägnät skulle åstadkomma.
3. I detta fall används 64- och 74-tonsfordon på ett begränsat vägnät som trafikverket har föreslagit. Lastade 74-tonsfordonen får endast köra på Trafikverkets föreslagna BK4-vägnät. 64-tonsfordonen får köra på samma vägnät som i fall ett. I detta fall gjordes tre olika körningar med 25%, 50% samt 75% andel 74-tonsfordon. 74-tonsfordonen valdes ut med avseende på deras hemmabas närhet till det begränsade BK4-vägnätet. Resterande del av fordonsflottan bestod av 64-tonsfordon i varje optimering.
4. I detta fall används 64- och 74-tonsfordon på ett begränsat, men i jämförelse mot Trafikverkets BK4-vägnät, utökat BK4-vägnät. Lastade 74-tonsfordonen får endast köra på det utökade BK4-vägnätet. 64-tonsfordonen får köra på samma vägnät som i fall ett. I detta fall gjordes tre olika körningar med 25%, 50% samt 75% andel 74-tonsfordon. 74-tonsfordonen i körningarna är de samma som i fall tre. Resterande del av fordonsflottan bestod av 64-tonsfordon i varje optimering.
5. Detta fall är allt exakt som fall 4 förutom ett annat utökat begränsat BK4-vägnät.

### **2.1.7 Vägnät**

För denna studies berörda område har Trafikverkets utvalda BK4-vägnät sin tyngdpunkt norr om Karlstad i Värmland. BK4-vägnätet motsvarar strax under 100 mil inom området för denna studie (Natanaelsson & Ngo, 2016) (Figur 2).

Det första utökade BK4-vägnätet har tagits fram i samarbete med Skogforsk. Genom att analysera utförda rundvirkestransporter mot de större industriklustren har ett sammanhållet BK4-vägnät valts ut på de vägar som var högt trafikerade. Utöver det sammanslogs Trafikverkets BK4-vägnät ihop med detta utökade BK4-vägnät. Det utökade BK4-vägnätet utgör cirka 36% av det statliga vägnätet. Vilket kan jämföras mot cirka 8% av det statliga vägnätet som Trafikverkets BK4-vägnät har. Framöver i studien kommer det utökade BK4-vägnätet benämnas Utökat BK4-vägnät 1 (Figur 2).

Det andra utökade BK4-vägnätet togs fram genom att selektera ut alla vägar som hade ett vägnummer lägre än 500. Utöver de vägarna ”kopplades” minst en enkelväg till varje mottagare. För att få en likvärdig längd mellan de två utökade BK4-vägnäten valdes att ta de vägarna med vägnummer lägre än 500. Det andra utökade BK4-vägnätet utgör då cirka 33% av det statliga BK1-vägnätet. Det vägnätet kommer att heta Utökat BK4-vägnät 2 (Figur 2).



**Figur 2.** Karta över studiens geografiska område med Trafikverkets BK4-vägnät till vänster, Utökat BK4-vägnät 1 i mitten och Utökat BK4-vägnät 2 till höger.

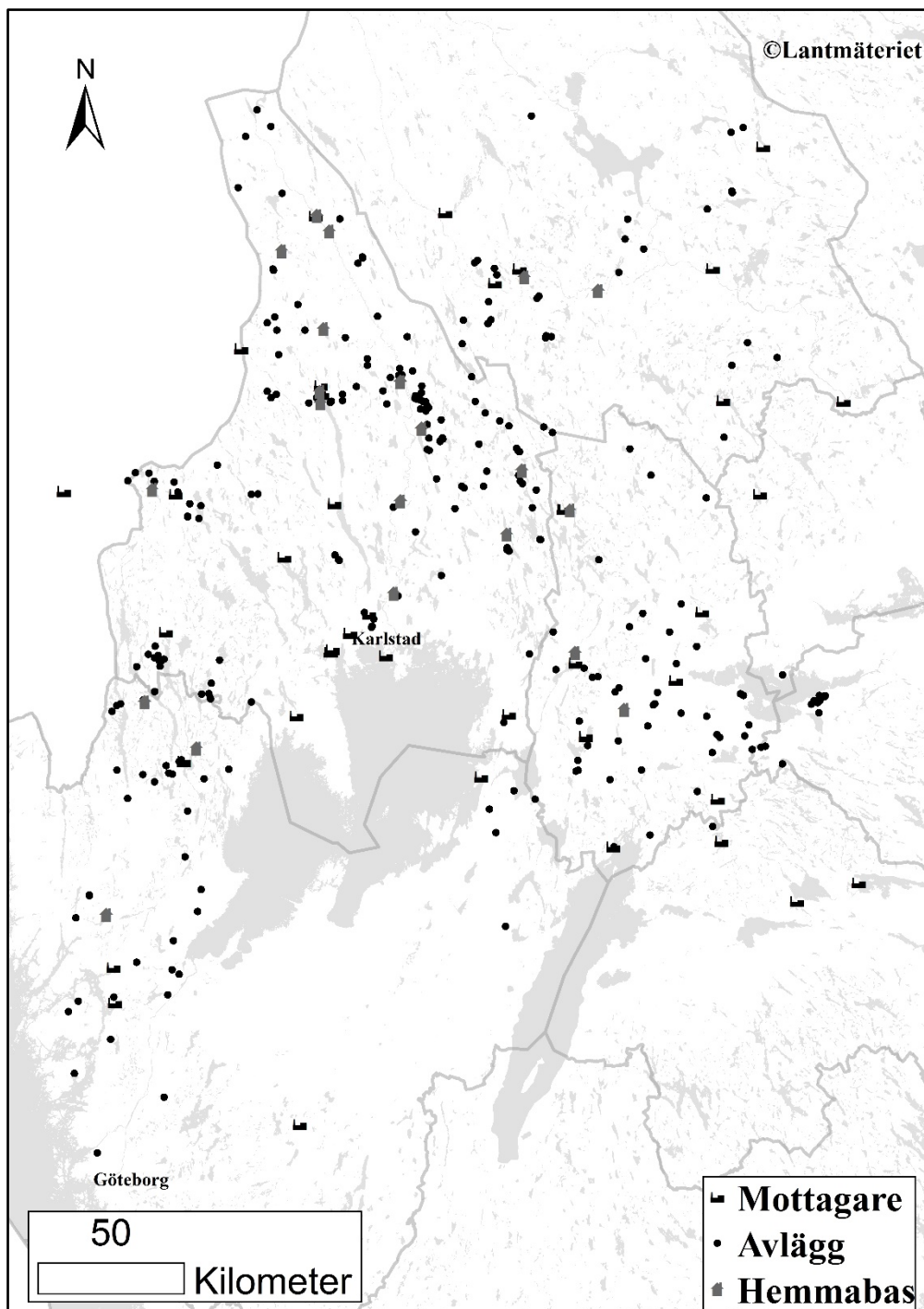
*Figure 2.* Map over the study's geographical area with Trafikverkets BK4 road network to the left, the enlarged BK4 road network 1 in the center and the enlarged BK4 road network 2 to the right.

### 2.1.8 Insamling av data

Först valdes 24 lastbilar hos VSV frakt ut, de valdes på premisserna att de skulle verka inom ett relativt samlat geografiskt område, lastbilarna skulle antingen köra enkelskift eller dubbelskift. Därefter valdes veckorna 36 (5–9 september) och 37 (12–16 september) 2016 till de veckor som analysen baserades på. Dessa veckor innehöll inga större störningar såsom semester eller driftstopp hos industrin i den geografiska regionen som valts ut. Två veckor valdes eftersom att det då går att se om resultaten skiljer sig åt beroende på vecka. Veckorna är samtidigt inte helt oberoende av varandra då samma avlägg kan ha använts under de båda veckorna och slå veckorna ihop kan det ge resultatet en längre kontinuitet. Veckorna och lastbilarna valdes efter samtal med transportledare hos VSV frakt.

Varje lastbils hemmabas togs fram genom att söka upp åkeriföretagets adress, vilket valdes som hemmabas för respektive lastbil. Information om varje utförd transport för varje enskild lastbil togs fram i VSV frakts egna transportledningssystem. Den information som togs fram för varje utförd transport en specifik lastbil gjort var virkesordernummer, virkeskällans koordinater, vilken mottagare som tog emot virkesordern, vid vilken tid togs virkesordern emot på industrin, vilken kvantitet kördes från virkesordern samt vilket sortiment blev inkört. Koordinater från ett 40-tal virkesordrar saknades i detta system, men dessa koordinater togs fram med hjälp från SDC. Vid utsortering av informationen fanns det tillfällen där en rutt hade flera olika sortiment, och/eller hämtade flera olika virkesordrar på samma rutt. Dessa rutter särredovisades i transportledningssystemet som olika rutter. Detta problem löstes med hjälp av att analysera när varje rutt inregistrerades på inmätningen och om flera rutter av en lastbil hade registrerats samma tid eller inom 30 minuter, slogs dessa blandlaster ihop med den virkesorder och sortiment som ursprungligen hade den största kvantiteten.

När informationen var sorterad hade de 24 lastbilarna utfört 492 rutter vecka 1 och 469 rutter vecka 2. De hade transporterat rundvirke från 272 källor till 52 olika mottagare (Figur 3).



**Figur 3.** Karta över studiens geografiska område med dess avlägg, mottagare och lastbilarnas hemmabaser.

*Figure 3.* Map over the study's geographical area with its supply sources (Avlägg), demand sources (mottagare) and home bases (Hemmabas) for the trucks.

### 2.1.9 Bearbetning av data

När de utförda transporterna var sorterade ändrades lastvikten till 42 ton för varje lastbil och rutt från avlägg till industri, oberoende av fordonstyp. Virkeskällornas kvantitet och sortiment togs fram genom att summera mot virkesordern varje enskild utförd transport under den berörda veckan. På samma sätt summerades virkesordrarna till mottagarna för

att få respektive mottagares orderkvantitet. Avstånd och tid mellan samtliga avlägg, mottagare och hemmabaser utfördes med hjälp av Krönt Vägval med avseende på vägnät och fordonstyp för varje fall. Det antogs att de fick köra både BK1 och BK4 på de enskilda och kommunala vägarna.

Den transporterade kvantiteten räknades upp till 49 ton manuellt i resultatet för varje enskilt fall för de transporter som utfördes med 74-tonsfordon. Detta ger totalvikten 73 ton med en taravikt på 24,0 ton. De transporter som utfördes med 64-tonsfordon hade 42 ton i lastvikt vilket ger en totalvikt på 64 ton. Lastvikterna och taravikterna är tagna från Asmoarp, et al. (2013).

#### **2.1.10 Inmatning till RuttOpt**

Datamaterialet som genereras efter insamlingen och bearbetningen av data (2.1.8 och 2.1.9) matades in i RuttOpt's indataformat. Indatat med de verkliga förutsättningarna för vecka 1 och vecka 2 matades in manuellt rutt för rutt, detta för att se lastbilarnas schema och att rutterna är rimliga samt för att säkerställa att de verkliga förutsättningarna går att återskapa i RuttOpt. Turordningen av rutterna bestämdes med hjälp av när lastbilen hade registrerats vid mottagningsplatsen. I vissa fall fanns inte tidpunkten när lastbilen hade registrerats vid mottagningsplatsen och då sattes rutten på det skift och den geografiskt bäst lämpade rutten. Det fanns inte information på om lastbilen var lastad vid skiftbyte eller vid arbetsdagens slut och därför förenklades det till att lastbilen var tom vid skiftbyte och arbetsdagens slut. I ruttinformationen framkom det att 7 av lastbilarna körde på enkelskift och 17 lastbilar körde på dubbelskift.

I optimeringen ändrades vissa variabler för att öka andelen möjliga fall som innebär att man kan köra in alla laster till mottagarna. Det som ändrades från de verkliga förutsättningarna var att alla lastbilar skulle köra dubbelskift. Dessutom sattes tre skiftbytesplatser för tre lastbilar på mottagare runt Karlstad. Lastbilarnas egentliga hemmabas var från orter norr om Karlstad.

För att få en skillnad mellan fordonstyperna i optimeringen måste kostnadsfunktionen för 74-tonsfordonen ändras. Ett 74-tonsfordon är cirka 4% billigare per tonkilometer än ett 64-tonsfordon med en lastkörningsgrad på 50%. Därför ändrades kostnadsfunktionerna för 74-tonsfordon i RuttOpt till 4% billigare än 64-tonsfordonen. Kostnaden som användes för 64-tonsfordonen var 7,7 kr/km lastad och 4,3 kr/km olastad för övertid var motsvarande 12,7 kr/km lastad och 9,3 kr/km olastad (Asmoarp 2017, pers. komm.).

Den dagliga körtiden för en lastbil får vara högst 9 timmar per förare. Dock får den dagliga körtiden uppgå till 10 timmar två gånger per vecka och förare (Transportstyrelsen, 2015). Körtiden i RuttOpt sattes till max 19 timmar per dag för de lastbilar som kör tvåskift. Övertidskostnaden började för varje lastbil efter 8 timmar eftersom att en vanlig arbetsvecka normalt är högst 40 timmar. Tyvärr går det inte att kontrollera om förare har kört mer än 9 timmar två gånger på en vecka i RuttOpt eftersom att modellen enbart kontrollerar hur länge ett fordon är tillgängligt och hur många skift fordonet har. Därför sattes körtiden till max 19 timmar och inte 20 som hade varit möjligt.

**Tabell 1.** Invariabler till RuttOpt*Table 1. Variables to RuttOpt*

Invariabel till RuttOpt	Invariablernas information
Virkeskällor (avlägg)	Koordinater, sortiment, kvantitet och mottagare av virket
Mottagare	Koordinater och orderkvantitet för varje sortiment
Avstånd	Avståndsmatris mellan varje nod med olika vägtillgängligheter
Lastbilar	Koordinater för hemmabas, historiskt schema, tillåten körtid, övertid, skiftbytesplatser, lass och lossningstid, fordonstyp och kostnad per km lastad och olastad

**2.1.11 Resultat från RuttOpt**

Utdatat som erhålls från RuttOpt kommer som en rutt för respektive fordon och dag (Tabell 2). Dessa utförda transporter ska ha uppfyllt kraven i indatat. Alltså ska den högsta möjliga kvantiteten vara levererad med det tillgängliga utbud som fanns tillgängligt samt ha uppfyllt alla bivillkor med kostnadsminimering för varje fordon och respektive vecka.

**Tabell 2.** Ett exempel på en del av ett ruttschema för en lastbil. AktionID 1 betyder körning utan lass, 2 betyder lastning, 3 betyder körning med lass, 4 betyder lossning och 5 betyder skiftbyte

*Table 2. An example on a part of a routing schedule for one truck. AktionID 1 means driving without a payload, 2 means loading, 3 means driving with payload, 4 means unloading and 5 means trucker shifting*

JobID	FordonsNamn	DagNamn	Rutt	AktionID	StartIDNod	SlutIDNod
Job_1	X	mån	Rutt_1	1	Hemmabas X	Virkesorder 1
Job_2	X	mån	Rutt_1	2	Virkesorder 1	Virkesorder 1
Job_3	X	mån	Rutt_1	3	Virkesorder 1	Mottagare 1
Job_4	X	mån	Rutt_1	4	Mottagare 1	Mottagare 1
Job_5	X	mån	Rutt_2	1	Mottagare 1	Virkesorder 2
Job_6	X	mån	Rutt_2	2	Virkesorder 2	Virkesorder 2
Job_7	X	mån	Rutt_2	3	Virkesorder 2	Mottagare 2
Job_8	X	mån	Rutt_2	4	Mottagare 2	Mottagare 2
Job_9	X	mån	Rutt_3	1	Mottagare 2	Hemmabas X
Job_10	X	mån	Rutt_3	5	Hemmabas X	Hemmabas X

### 2.1.12 Beräkning av nyckeltal

För att kvantifiera ruttmöjligheter beroende på tillgänglighet och fordonstyp kan man utvärdera olika nyckeltal. De för studien intressanta nyckeltal är: koldioxidutsläpp, transportkostnad, total körd sträcka, lastkörd sträcka, lastkörningsgrad samt resursutnyttjande. Lastkörningsgraden beräknar hur stor andel av fordonens transportsträcka som är körd med last, som ger en visning på hur väl lastbilarna används, och beräknas enligt:

$$\text{Lastkörningsgrad}_{ij} = \frac{\sum \text{Lastkörd sträcka}_{ij} [\text{Km}]}{\sum \text{sträcka}_{ij} [\text{Km}]}$$

*i*: för varje enskilt fall

*j*: för varje enskild vecka

(ekvation 1 [%])

Ett 74-tonsfordon med kran förbrukar i medel 0,57 l/km lastad och 0,43 l/km olastad. Ett 64-tonsfordon med kran förbrukar i medel 0,51 l/km lastad och 0,37 l/km olastad.

Förbrukningen är från grunddatat som använts i Asmoarp, et al. (2013) studie. Det finns inte tillgängligt bränsleförbrukningsdata för 64-tonsfordon, därför räknades bränsleförbrukningen upp proportionerligt mot viktökningen vid lastad körning för 64-tonsfordonen. Den olastade bränsleförbrukningen för 74-tonsfordonen var hög i Asmoarp, et al. (2013), den var 15% högre än de olastade 64-tonsfordonen med enbart 2 ton i taraviktskillnad. Som jämförelse är den procentuella skillnaden mellan de två typfordonen 13% när de är fullastade och då är bruttoviktskillnaden 9 ton. Därför valdes bränsledata från Asmoarp, et al. (2015) där ett 74-tonsfordon drar 0,42 l/km olastad.

Koldioxidutsläppsberäkningen baseras på bränsleförbrukning för motorer av klassen Diesel (Euro 6) och beräknades enligt:

$$CO_2 - \text{utsläpp}_{ij} = 2,86 [\text{Kg/l}] * \text{bränsleförbrukning}_{ij} [\text{l}]$$

*i*: för varje enskilt fall

*j*: för varje enskild vecka

(ekvation 2 [Kg])

Den ekonomiska jämförelsen redovisas i relativa tal mot referensfallet. Jämförelsen görs per intransporterat ton eftersom att de olika fallen transporterar in olika kvantiteter.

Transportarbetet (tonkm) räknas ut för varje enskilt fall och vecka per fordonstyp, se ekvation (3). Därefter multiplicerades transportarbetet per fordonstyp med den relativa kostnadsskillnaden, vilket måste göras eftersom att kostnadsskillnaden mellan 64 och 74-tonsfordonen är framtagna på transportarbetet och inte kostnadsskillnaden mellan lastad och olastad lastbil, se 2.1.10. Resultatet för varje typfordon i ett enskilt fall summerades och slutligen dividerades med den kvantitet virke som hade körts in vid varje fall, se ekvation (4).

$$Transportarbete_{ij} = \frac{\sum Lastvikt_{ij} [ton]}{Antal lass_{ij}} * \sum transportavstånd lastad sträcka_{ij} (Km)$$

(ekvation 3 [Tonkm])

$$Kostnads - skillnad_{ij} = \frac{\left( \frac{\sum Transportarbete 74 ton_{ij} * 0,96 + Transportarbete 64 ton_{ij}}{Inkörd kvantitet_{ij}} \right)}{\left( \frac{Transportarbete referensfall_j}{Inkörd kvantitet_j} \right)}$$

*i*: för varje enskilt fall

*j*: för varje enskild vecka

(ekvation 4 [%])

Resursutnyttjande tar hänsyn till alla fordons nyttjande av ordinarie arbetstid. Det visar hur stor kapacitet som används av fordonsflottan och kan visa vilka fordon som överanvänds eller har kapacitet kvar och om det är skillnad beroende på vägnätsbegränsningar och fordonstyp. I denna studie baseras "tillgänglig ordinarie tid" på ordinarie körtid och ej övertid. Det teoretiska maximala resursutnyttjandet kan bli 1,1875 i denna studie. I denna studie utfördes resursutnyttjandjämförelserna med summan för de olika fordonstyperna för respektive fall. I de fall vissa fordonstyper blir tvungna att köra övertid blir resursutnyttjandet större än 1 och i de fall de används mindre än ordinarie körtid blir resursutnyttjandet mindre än 1. Detta för att se vilken fordonstyp som användes mest i varje enskilt fall. Resursutnyttjande beräknades enligt:

$$Resursutnyttjande_{ij} = \frac{\sum arbetad ordinarie tid_{ij} (tim)}{\sum tillgänglig ordinarie tid_{ij} (tim)}$$

*i*: för varje enskilt fall

*j*: för varje enskild vecka

(ekvation 5 [%])

### 2.1.13 Resultatets validitet

Varje enskilt fall kontrollerades genom att undersöka varje resultat i varje optimering. Det gjordes genom att nyckeltalen lastkörd sträcka, tomkörd sträcka, körtid lastad och körtid olastad jämfördes mot antalet lass för respektive lastbil och vecka. Upptäcktes felaktigheter som till exempel att optimeringen hade gjort en rutt utan att hämta något lass togs de felaktiga rutterna bort i resultatet för att ge ett så realistiskt resultat som möjligt.

### 3 Resultat

Analyserna visar att inte alla lass kan transporteras från avlägg till mottagare (Tabell 3). För Utökat BK4-vägnät 1 Vecka 2 blev inte 1,1% lass genomförda. För de andra fallen med utökade vägnät blev inte 6,0–15% av lassen genomförda. För Trafikverkets BK4-vägnät var det ej möjligt att genomföra alla lass vid 25% 74-tonsfordon och ej genomförda lass ökade från 1,1–3,0% till 21–55% med 50% och 75% 74-tonsfordon med det BK4-vägnätet. 492 lass vecka 1 och 469 lass vecka 2 var det totala antalet möjliga lass för de båda veckorna.

**Tabell 3.** Antal ej genomförda lass beroende på vecka, vägnät och andel 74-tonsfordon  
**Table 3.** Uncompleted loads depended on the week, type of vehicles and the rate of 74 tonnes vehicles

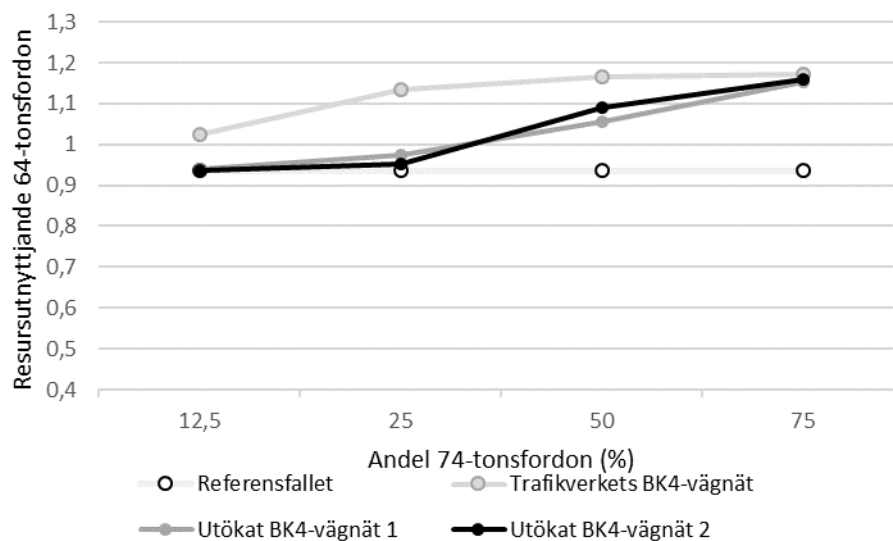
Fall	Andel 74-tonsfordon (%)	Ej genomförda lass (antal)		Andel av totala antalet möjliga lass som ej blev genomförda (%)	
		Vecka		Vecka	
		1	2	1	2
Enbart 64-tonsfordon	0	0	0	0	0
Enbart 74-tonsfordon	100	0	0	0	0
Utökat BK4-vägnät 1	12,5	0	0	0	0
Utökat BK4-vägnät 1	25	0	0	0	0
Utökat BK4-vägnät 1	50	0	5	0	1,1
Utökat BK4-vägnät 1	75	42	28	9,0	6,0
Utökat BK4-vägnät 2	12,5	0	0	0	0
Utökat BK4-vägnät 2	25	0	0	0	0
Utökat BK4-vägnät 2	50	0	0	0	0
Utökat BK4-vägnät 2	75	73	57	15	12
Trafikverkets BK4-vägnät	12,5	0	0	0	0
Trafikverkets BK4-vägnät	25	15	5	3,0	1,1
Trafikverkets BK4-vägnät	50	120	100	24	21
Trafikverkets BK4-vägnät	75	271	243	55	52

#### 3.1.1 Resursutnyttjande

Trenden är att resursutnyttjandet ökar för 64-tonsfordonen med större andel 74-tonsfordon (Figur 4 & 5). Fallet Trafikverkets BK4-vägnät visade störst förändring och redan vid 12,5% andel 74-tonsfordon var resursutnyttjandet 53% och därefter sjönk resursutnyttjandet med ökad andel 74-tonsfordon i fordonsflottan. Resursutnyttjandet för referensfallet låg på 94% för vecka 1 och 93% för vecka 2. När det maximala resursutnyttjandet nåddes för 64-tonsfordonen kunde inte 1,1–55% av lassen köras in till mottagaren. Den brytpunkten blev efter 50% andel 74-tonsfordon för de utökade BK4-vägnäten och efter 12,5% för Trafikverkets BK4-vägnät. De utökade BK4-vägnäten hade i medeltal ett resursutnyttjande mellan 87–95% för 74-tonsfordonen tills en högre andel 74-tonsfordon än 50%. Då låg medelresursutnyttjande mellan 72–79% och med den andelen 74-tonsfordon räckte inte övertiden för 64-tonsfordonen för att hämta alla lass. Det innebär

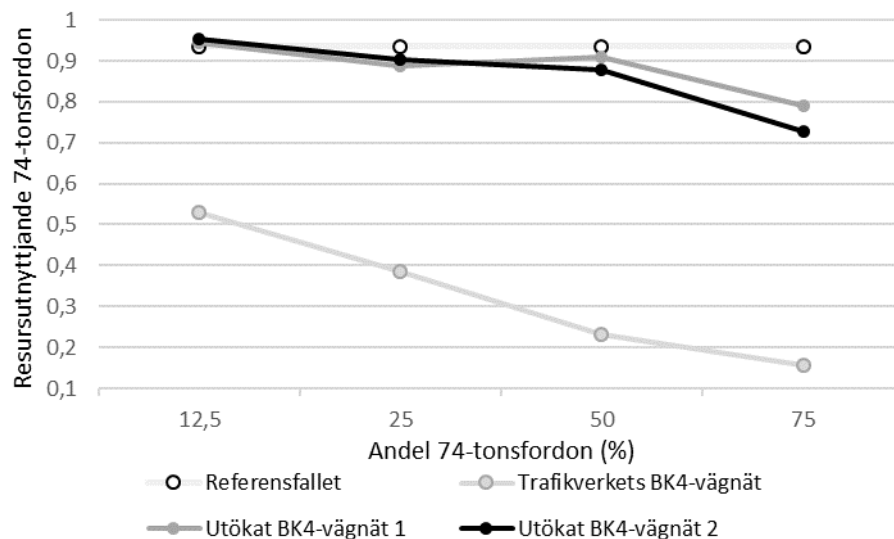


att en fordonsflotta med över 50% 74-tonsfordon är överdimensionerad med 74-tonsfordon för de utökade BK4-vägnäten.



**Figur 4.** Resursutnyttjande (kvoten mellan ”arbetad ordinarie tid” och ”tillgänglig ordinarie tid”) i medeltal för båda veckorna och alla fall för 64-tonsfordon.

*Figure 4.* The average of the ratio between time utilized and not utilized for the both weeks, for the 64 tonnes vehicle and for all cases.



**Figur 5.** Resursutnyttjande (kvoten mellan ”arbetad ordinarie tid” och ”tillgänglig ordinarie tid”) i medeltal för båda veckorna och alla fall för 74-tonsfordon.

*Figure 5.* The average of the ratio between time utilized and not utilized for the both weeks, for the 74 tones vehicle and for all cases.

För fallet Trafikverkets BK4-vägnät kunde 10% av fordonsflottan vara 74-tonsfordon, därefter kunde inte fler användas på grund av att de fordonen inte hade tillgång till alla avlägg med Trafikverkets BK4-vägnät. Istället användes övertiden för 64-tonsfordonen för att komma åt alla avlägg och mottagare. I de utökade BK4-vägnäten kunde 13–48% 74-tonsfordon utnyttjas (Tabell 4).

I referensfallet nyttjades 22,7 respektive 22,3 lastbilar för vecka 1 och 2. Med över 12,5% andel 74-tonsfordon med Trafikverkets BK4-vägnät ökade användningstiden av 74-tonsfordonen men antalet intransporterade lass ökade med enbart 9 lass (Tabell 4).

**Tabell 4.** Andel nyttjade lastbilar i medeltal och antalet genomförda lass med 74-tonsfordon för de fall som hade mindre än 20 ej genomförda lass för båda veckorna

**Table 4.** The quantity of utilized trucks and the quantity of the completed loads with 74 tonnes vehicles for the cases that had less than 20 uncompleted loads in the case for both weeks

Fall	Andel 74-tonsfordon (%)	Andel nyttjade 74-tonsfordon mot den nyttjade fordonsflottan (%)	Antal lass
Trafikverkets BK4-vägnät	12,5	6%	47
Trafikverkets BK4-vägnät	25	10%	56
Utökat BK4-vägnät 1	12,5	13%	106
Utökat BK4-vägnät 1	25	25%	220
Utökat BK4-vägnät 1	50	48%	437
Utökat BK4-vägnät 2	12,5	13%	110
Utökat BK4-vägnät 2	25	24%	223
Utökat BK4-vägnät 2	50	47%	435

### 3.1.2 Kostnadsjämförelser

De utökade BK4-vägnäten visade en kostnadsminskning eller oförändrad kostnad (0,1– -1,1%) och med Trafikverkets BK4-vägnät blev det en kostnadsökning med 2,0% vecka 2 och oförändrad kostnad vecka 1 (Tabell 5). Utökat BK4-vägnät 2 har från 0,1–0,7% lägre kostnader än Utökat BK4-vägnät 1.

**Tabell 5.** Kostnadsförändring per intransporterat ton mot fallet Enbart 64-tonsfordon för vecka 1 och 2 för de fall som hade genomfört varje möjligt lass. – Betyder att det fallet inte genomfört varje lass och därför inte med i jämförelsen

**Table 5.** Cost change per ton transported against the case Enbart 64-tonsfordon for week 1 and 2 for the cases that had completed every possible load. – means that the case did not complete every possible load and therefore is it not in the comparison

Fall	Andel 74-tonsfordon (%)	Relativ total kostnadsförändring (%)	
		Vecka	
		1	2
Enbart 64-tonsfordon	0	0,0	0,0
Enbart 74-tonsfordon	100	-4,0	-4,0
Utökat BK4-vägnät 1	12,5	0,1	-0,2
Utökat BK4-vägnät 1	25	-0,3	-0,8
Utökat BK4-vägnät 1	50	-0,4	–
Utökat BK4-vägnät 2	12,5	0,0	-0,3
Utökat BK4-vägnät 2	25	-0,8	-0,9
Utökat BK4-vägnät 2	50	-1,1	-1,1
Trafikverkets BK4-vägnät	12,5	0,0	2,0

### 3.1.3 Analys av koldioxidutsläppen

Koldioxidutsläppen per transporterat ton var högre för Trafikverkets BK4-vägnät med 12,5% andel 74-tonsfordon (4,0–5,6%) än för de andra utökade BK4-vägnäten med samma andel 74-tonsfordon (-1,0-1,0%) (Tabell 6). Utökat BK4-vägnät 2 hade lägre koldioxidutsläpp (-0,4-5,6%) än Utökat BK4-vägnät 1 (0,9–6,9%) med 25% och över 74-tonsfordon.

**Tabell 6.** Relativa skillnaden för koldioxidutsläpp per intransporterat ton vecka 1 och 2 för de fall som hade genomfört varje möjligt lass. – Betyder att det fallet inte genomfört varje lass och därför inte med i jämförelsen

*Table 6. Relative difference for the carbon dioxide emissions per ton transported week 1 and 2 for the cases that had completed every possible load. – means that the case did not complete every possible load and therefore is it not in the comparison*

Fall	Andel 74-tonsfordon (%)	Relativ total CO <sub>2</sub> -förändring per intransporterat ton (%)	
		Vecka	
		1	2
Enbart 64-tonsfordon	0	0,0	0,0
Enbart 74-tonsfordon	100	-3,0	-3,0
Utökat BK4-vägnät 1	12,5	0,5	-0,1
Utökat BK4-vägnät 1	25	0,9	1,7
Utökat BK4-vägnät 1	50	6,9	–
Utökat BK4-vägnät 2	12,5	-1,0	1,0
Utökat BK4-vägnät 2	25	-0,1	-0,4
Utökat BK4-vägnät 2	50	4,8	4,9
Trafikverkets BK4-vägnät	12,5	4,0	5,6

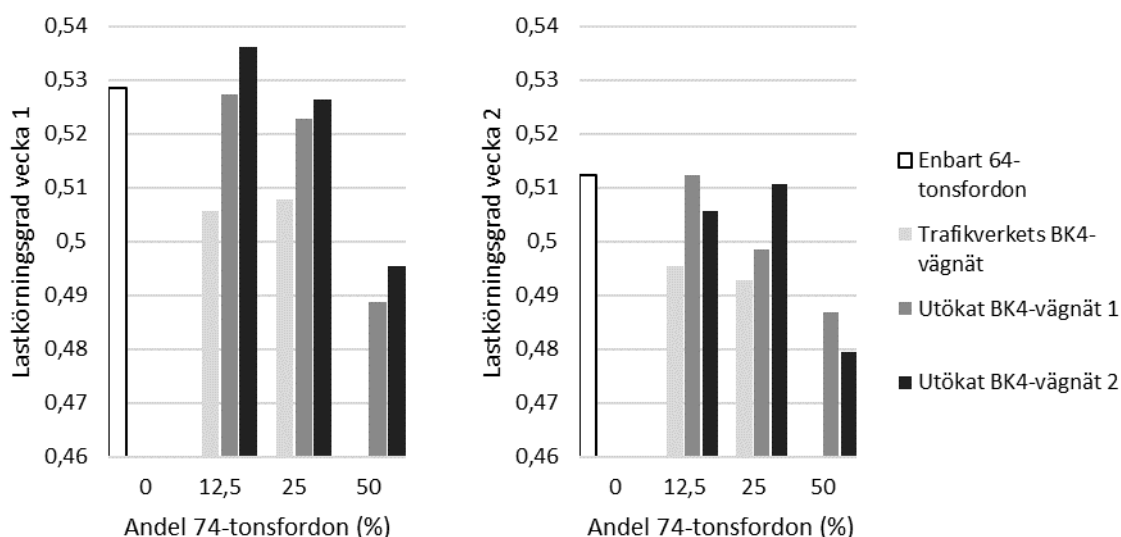
### 3.1.4 Lastkörningsgrad och total körd sträcka

Den totala körda sträckan lastad och olastad ökade för varje fall med ökad andel 74-tonsfordon, utom i fallet Utökat BK4-vägnät 2 med 12,5% andel 74-tonsfordon (Tabell 7). Trafikverkets BK4-vägnät med 12,5% 74-tonsfordon hade längre total körd sträcka än de utökade BK4-vägnäten med samma andel 74-tonsfordon. För de utökade BK4-vägnäten ökade den totala körda sträckan med 5,4–7,8% när andelen 74-tonsfordon ökade från 25% till 50%. Den totala körda sträckan i fallet Enbart 64-tonsfordon var 78 448 km vecka 1 och 79 124 km vecka 2. Körd sträcka lastad var för samma fall 41 454 km vecka 1 och 40 532 km vecka 2 (Bilaga 1).

**Tabell 7.** Relativ ändring total körd sträcka vecka 1 och 2 för de fall som hade genomfört varje möjligt lass. – Betyder att det fallet inte genomfört varje lass och därför inte med i jämförelsen  
**Table 7.** Relative change for transported distance empty and loaded for week 1 and 2 for the cases that had completed every possible load. – means that the case did not complete every possible load and therefore is it not in the comparison

Fall	Andel 74-tonsfordon (%)	Relativ ändring total körd sträcka (%)	
		Vecka	
		1	2
Enbart 64-tonsfordon	0	0,0	0,0
Enbart 74-tonsfordon	100	0,0	0,0
Utökat BK4-vägnät 1	12,5	0,9	0,0
Utökat BK4-vägnät 1	25	2,0	2,9
Utökat BK4-vägnät 1	50	9,4	-
Utökat BK4-vägnät 2	12,5	-1,0	1,4
Utökat BK4-vägnät 2	25	0,8	0,04
Utökat BK4-vägnät 2	50	7,5	7,8
Trafikverkets BK4-vägnät	12,5	4,8	5,7

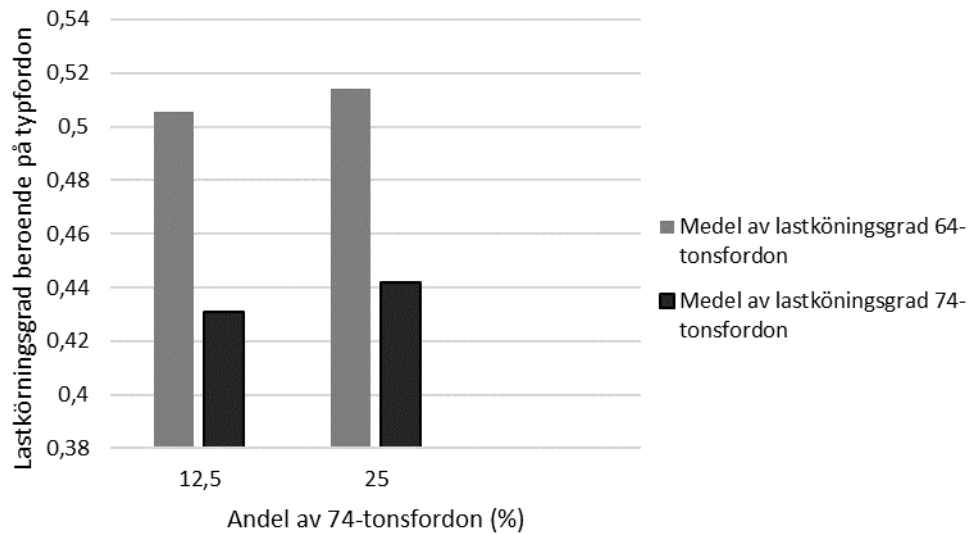
Lastkörningsgraden för fallet enbart 74-tonsfordon är densamma som fallet enbart 64-tonsfordon och är därför inte med i Figur (6). Lastkörningsgraden var högre vecka 1 än i vecka 2. Fallen Trafikverkets BK4-vägnät hade lägre lastkörningsgrad än de utökade BK4-vägnäten.



**Figur 6.** Lastkörningsgrad (kvot mellan lastkörd sträcka och körd sträcka) vecka 1 och 2 för de fall som hade mindre än 15 ej genomförda lass.

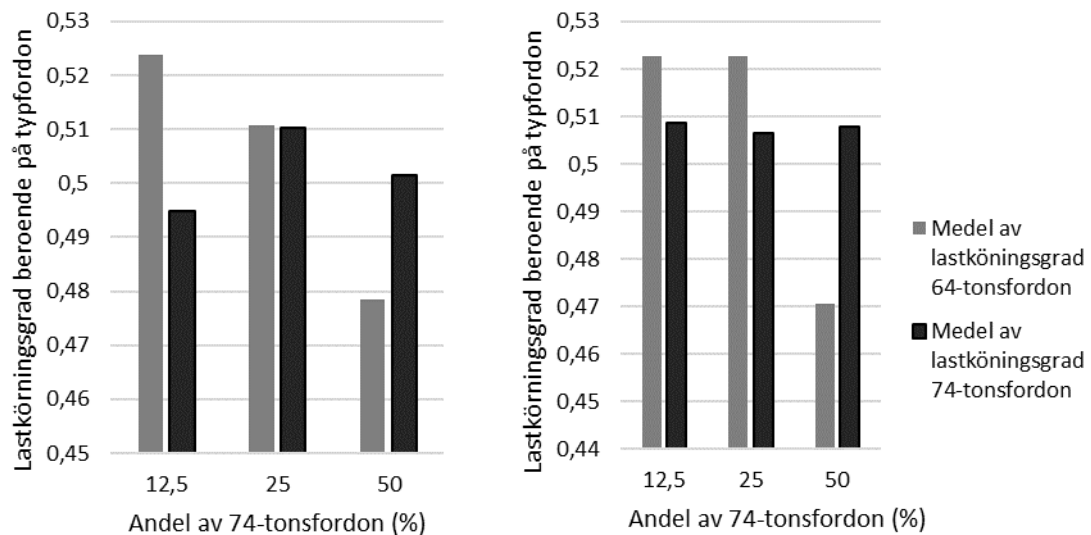
**Figure 6.** Ratio between loaded distance and total distance for week 1 and 2 for the cases that had less than 15 uncompleted loads.

Lastkörningsgraden varierade mellan de olika fordonstyperna och de olika BK4-vägnäten. Generella resultatet är att lastkörningsgraden är lägre för 74-tonsfordonen än för 64-tonsfordonen men med några undantag, detta kan ses i figurerna (7–8).



**Figur 7.** Medel av lastkörningsgrad (kvot mellan lastkörd sträcka och körd sträcka) för vecka 1 och 2, per fordonstyp och de fall som hade mindre än 15 ej genomförda lass i fallet Trafikverkets vägnät.

*Figure 7. Ratio between loaded distance and total distance for both week per truck-type and for the cases that had less than 15 uncompleted loads in the case Trafikverkets BK4-vägnät.*



**Figur 8.** Medel av lastkörningsgrad (kvot mellan lastkörd sträcka och körd sträcka) för vecka 1 och 2, per typfordon och de fall som hade mindre än 15 ej genomförda lass i fallen Utökat BK4-vägnät 1 till vänster och Utökat BK4-vägnät 2 till höger.

*Figure 8. Ratio between loaded distance and total distance for week 1 and 2 per truck-type and for the cases that had less than 15 uncompleted loads in the cases Utökat BK4-vägnät 1 to the left and Utökat BK4-vägnät 2 to the right.*

## 4 Diskussion

### 4.1 Resultat

#### 4.1.1 Ej genomförda lass

En begränsning med studien är att det inte gick att transportera in varje historiskt kört lass då 74-tonsfordonen inte kommer åt alla BK4-vägar i studien. I verkligheten hade 74-tonsfordonen kunnat lasta fordonet till en bruttovikt av 64 ton, men med lägre lastfyllnadsgrad och högre kostnad. Skulle ett 74-tonsfordon lasta till bruttovikten 64 ton skulle lastvikten bli 2 ton lägre än en konventionell rundvirkeslastbil på grund av att taravikten är högre på ett 74-tonsfordon (Asmoarp, et al., 2013). För resultatet hade det varit intressant att räkna på detta men det kunde ej genomföras på grund av att data för transporter med 74-tonsfordon lastat till bruttovikt 64 inte fanns att tillgå för denna studie.

För de utökade BK4-vägnäten blev resultatet att optimeringen klarade att köra alla lass förutom 5 tills andelen 74-tonsfordon blev 75% (Tabell 3). Anledningen att inte alla lass kunde genomföras var för att alla avlägg inte kunde nås med 74-tonsfordon med de utökade vägnäten och att de kvarvarande 64-tonsfordonen inte hade den kapacitet att transportera in resterande rundvirke. Detta skedde redan vid 25% andel 74-tonsfordon för Trafikverkets vägnät. Detta syns i analysen av resursutnyttjandet (Figur 4) där resursutnyttjandet var 114% för 64-tonsfordonen redan med 25% andel 74-tonsfordon för Trafikverkets BK4-vägnät.

#### 4.1.2 Resursutnyttjande

Efter att resursutnyttjandet blev maximerat för 64-tonsfordonen uppstod en del inoptimala rutter för 74-tonsfordonen för att få in de sista möjliga lassen i fallet Trafikverkets BK4-vägnät (Tabell 4). Dessa lass kan anses vara så otillgängliga för 74-tonsfordonen att även om de i realiteten kan transporteras in så är det bättre att låta ett 64-tonsfordon ta det. Analysen med andel nyttjade 74-tonsfordon mot den nyttjade fordonsflottan (Tabell 4), visade att den mest optimala andelen 74-tonsfordon för Trafikverkets BK4-vägnät var för de båda veckorna i medeltal 6%. Detta syntes genom att med 4 procentenheter högre andel 74-tonsfordon blev antalet körda lass med 74-tonsfordon enbart 9 fler (Tabell 4). Det kan inte anses nödvändigt att ha den ökningen av 74-tonsfordon och transportera in 9 lass till, vilket motsvarar 1% av det totala antalet körda lass.

För de utökade BK4-vägnäten skedde en brytpunkt med en fordonsflotta över 50% 74-tonsfordon. Alla lass kunde då inte genomföras och resursutnyttjandet steg från 105% och 109% till 116%. Med det i åtanke och att andelen nyttjade 74-tonsfordon låg på 47–48% med 50% 74-tonsfordon, har en fordonsflotta med över 50% 74-tonsfordon en överkapacitet på just 74-tonsfordon.

För att utöka möjliga fall med möjlighet att köra in alla lass valdes att låta alla lastbilar köra dubbelskift. Speciellt fallet Trafikverkets BK4-vägnät fick inte en godkänd lösning med de verkliga skiftgångarna. Detta gjorde att fler fall som tidigare inte kunde genomföra alla lass lyckades, i och med att 64-tonsfordonen nu hade möjlighet att köra mer. Dock borde detta inte påverka validiteten i resultatet då det var samma förutsättningar i alla fall och endast en förenkling av verkligheten. Emellertid kan det ge en indikation på att nuvarande kapacitet på fordonsflottan har svårt att klara ett större inkörningskrav än i

ursprungsfallet. Hade övertidskostnaden varit högre hade sannolikt fler 74-tonsfordon använts istället för att nyttja övertiden för 64-tonsfordonen. Emellertid verkar övertidskostnaden varit lagom hög i denna studie då resursutnyttjandet för 64-tonsfordonen blev över 100% först i de fallen där 74-tonsfordonen inte lyckades genomföra flertalet av lassen.

#### **4.1.3 Kostnadsjämförelser, lastkörningsgrad och koldioxidutsläpp**

Den ekonomiska vinsten uteblev, minskade eller gav högre kostnader när ett begränsat BK4-vägnät användes i jämförelse med referensfallet med enbart 64-tonsfordon. Analysen av koldioxidutsläpp visade att det kunde bli både högre, lägre eller likvärdigt koldioxidutsläpp per ton intransporterat rundvirke med ett begränsat BK4-vägnät. Det samma gällde för den totalt körda sträckan. Anledningen till detta beror troligen på ett flertal faktorer som alla är kopplade till kostnaden, lastkörningsgrad och koldioxidutsläppen. En faktor är att lastbilarna inte har möjlighet att göra ett skiftbyte lastad utan lastbilen är tvingad till att lasta av hos mottagaren innan skiftbyte och sedan köra hem till hemmabasen, detta minskar möjligheterna till smarta returer. En annan faktor är att de möjliga vägarna till mottagarna från avlägg blir längre än den optimala vägen eftersom att den optimala vägen är en väg med lägre tillåten bruttovikt.

Att den olastade körsträckan blir längre för 74-tonsfordonen är tydligt i jämförelserna mellan fordonstyp och lastkörningsgrad, se figur (7–8). Det var speciellt påtagligt i fallet Trafikverkets BK4-vägnät (Figur 7). I de utökade BK4-vägnäten var lastkörningsgraden mer likvärdiga mellan fordonstyperna och med 50% 74-tonsfordon i fordonsflottan blev lastkörningsgraden till och med högre för 74-tonsfordonen (Figur 8). Det beror förmodligen på att med en så hög andel 74-tonsfordon, som har möjlighet att hämta majoriteten av lassen, blir 64-tonsfordonen tvungna att köra alla de rutter som inte 74-tonsfordonen kommer åt. Dessa rutter kan ligga väldigt spritt och göra det svårt att utnyttja returer samt att köra till hemmabasen och göra skiftbytet lastad. Att lastkörningsgraden ökade för det enskilda fallet Utökat BK4-vägnät 2 vecka 1 mot fallet Enbart 64-tonsfordon (Figur 6) kan bero på att RuttOpt är en heuristik och därmed kan hitta ett annat optimum för vissa lösningar och därmed bättre än referensfallet där enbart 64-tonsfordon används (se utförligare beskrivning om heuristiker i 2.1.5). En anledning till att det inte går att göra en jämförelse mellan de fall som inte hade transporterat in alla lass är att så fort ett lass inte blir inkört är det troligt att det lass som inte väljs att köras in är det mest kostsamma lasset att få till mottagaren, eftersom att RuttOpt's målfunktion är en kostnadsminimering.

Analysen av koldioxidutsläpp visade att det kunde bli ett högre koldioxidutsläpp per ton med ett begränsat BK4-vägnät, särskilt för Trafikverkets BK4-vägnät som fick 4,0–5,6% högre koldioxidutsläpp. För de fallen med 50% i andel 74-tonsfordon i de utökade BK4-vägnäten ökade koldioxidutsläppen med 4,8–6,9%. De övriga fallen varierade mellan -1,0–1,7% i skillnad (Tabell 6). Detta kan först och främst bero på de tidigare upptagna faktorerna, skiftbyten lastad, inoptimal körsträcka och spridda resterande avlägg. Detta resultat visar att trots en högre andel 74-tonsfordon med lägre bränsleförbrukning lastad ger högre koldioxidutsläpp på grund av begränsningar i BK4-vägnätet. En svaghet i denna analys är bristen på komplett bränsleförbrukningsdata.

Kostnadsjämförelserna visar att det går att uppnå en lägre kostnad trots ett begränsat BK4-vägnät, men inte med Trafikverkets vägnät där det istället blev samma nivå, eller högre kostnader (Tabell 5). En osäkerhet i kostnadsanalysen är att kostnaden är beräknat på 50%

lastkörningsgrad för både 74- och 64-tonsfordonen. I denna studie varierar lastkörningsgraden (Figur 6–8) och därför blir inte kostnadsjämförelsen helt korrekt. Det kan vara anledningen till att det är en tydlig skillnad på förhållandet mellan koldioxidutsläpp och kostnadsjämförelserna och förmodligen är koldioxidutsläppsjämförelserna de mest korrekta då lastkörningsgraden varierar mellan de olika fordonstyperna. Tyvärr fanns inte informationen om kostnad för lastad och tomkörd sträcka för denna studie. Lastbilens lastvikt är viktig för utfallet för både kostnadsjämförelserna och koldioxidutsläppsjämförelserna. I denna rapport är lastvikten konstant fast, men i realiteten kan lastvikten variera. Extra svårt är det för 74-tonsfordon att få hög lastvikt, speciellt vid låg densitet på virket (Asmoarp & Jonsson, 2015). Dessutom är inte övertid medräknat i kostnadsjämförelserna.

De olika analyserna visar att Utökat BK4-vägnät 2 är bättre i de flesta nyckeltal än Utökat BK4-vägnät 1. Utökat BK4-vägnät 2 är dessutom cirka 3 procentenheter kortare i relation till det statliga vägnätet än Utökat BK4-vägnät 1. Det kan ge en antydning om att det är mer effektivt att ha längre sammanhållna vägar än att använda BK4-vägnät som baseras på industrikluster när rundvirke ska transporteras.

#### **4.1.4 Övriga reflektioner**

Det är skillnad på resultaten i de flesta uträknade nyckeltal mellan de två olika veckorna i de olika analyserna, speciellt för Trafikverkets BK4-vägnät. Det visar att det kan vara en variation mellan olika veckor, speciellt för ett så begränsat BK4-vägnät som Trafikverkets. De andra utökade BK4-vägnäten visar inte på samma variation mellan veckorna. Det beror förmodligen på att med ett mer begränsat BK4-vägnät spelar det större roll vart avläggen ligger och vilka kvantiteter avlägget innehar. Vart avläggen ligger och dess kvantitet ändrar sig för varje dag vilket kan göra ett för begränsat BK4-vägnät osäkert i hur många rutter som är möjliga med fullastade 74-tonsfordon. Den valda undersökningsperioden innehöll inga störningar men för att se om olika perioder påverkar resultatet beroende på årstid hade det eventuellt varit bättre att välja två skilda perioder med olika avvikelser.

Studien är geografiskt avgränsad till sydvästra Sverige och kan inte implementeras på ett annat geografiskt område. Det beror på att det finns många faktorer som kan ge betydelse för en fordonsflottas totala ekonomi, lastkörningsgrad och dess koldioxidutsläpp. Speciellt har det betydelse för Trafikverkets BK4-vägnät i och med att det är koncentrerat mot olika industrikluster och denna studie gjordes med avlägg och hemmabaser spritt runt och i deras BK4-vägnät. Det är troligt att resultatet hade blivit bättre för Trafikverkets BK4-vägnät om fler transporter hade gjorts i direkt anslutning till BK4-vägnätet, men i verkligheten kan en enskild lastbil ha en stor variation i geografi mellan arbetsdagar. När det geografiska området valdes var Trafikverkets BK4-vägnät dessvärre inte presenterat och därmed kunde inte detta tas i hänsyn när det geografiska området valdes.

I denna studie har de utförda rutterna i fallen bestämts med hjälp av RuttOpt. I verkligheten sker inte all transportledning med hjälp av optimering, och att bestämma vilka rutter ett 74-tonsfordon ska ta med ett begränsat vägnät kan vara svårt. Speciellt när en transportledare ska dela ut uppdragen rättvist mellan befraftare kan problem uppstå vid olika tillgängligheter på vägnätet i en fordonsflotta.



## 4.2 RuttOpt

Med optimering som minimerar transportkostnaden för varje fordon har det varit möjligt att se vad utfallet blir beroende på de olika variabler optimeringen tar hänsyn till. I resultatet har det kunnat utläsas hur de variablerna påverkar utfallet med lastbilarnas ruttmöjligheter och dess påverkan på ekonomin och koldioxidutsläpp. Programmet RuttOpt har fungerat bra som modell för att hantera denna studies typ av problematik. En nackdel är dock att i denna studie har inte flexibla skiftbyten använts. I realiteten skulle det vara ett naturligt tillvägagångssätt i ett begränsat BK4-vägnät eftersom att då hade möjligheten funnits att göra ett skiftbyte med ett lastat 74-tonsfordon vid en BK4-väg. Det förfarandet hade varit fördelaktigt om det inte hade funnits en BK4-väg ända in till lastbilens hemmabas.

I avståndsberäkningen mellan alla noder med de olika vägtillgängligheterna antogs det att 74-tonsfordonen fick köra på enskilda vägar och kommunala BK1-3 vägar. Vilket inte alltid är möjligt då enskilda och kommunala vägar kan ha sina egna begränsningar beroende på vägförening, kommun och vägens skick. Likaså kan säsong och väderförhållanden sätta begränsningar vilket inte har tagits hänsyn till i denna studie. Om alla dessa tänkbara begränsningar hade tagits hänsyn till är det möjligt att BK4-vägnätet hade varit än mer begränsat och påverkat resultatet negativt. Men det är svårt att förutsäga hur varje vägsamfällighet och kommun ställer sig till 74-tonsfordon, dessutom kan en begränsning eller tillfällig begränsning på vägnätet även gälla för BK1.

Metodiken för att fastställa virkeskällornas kvantitet och mottagningsplatsernas orderkvantitet medförde en del problem. Ett av dessa problem uppstår vid ruttoptimeringen när 74-tonsfordon med en högre lastvikt ingår i fordonsflottan. Dels kommer inte lastbilarna få möjlighet att lasta fullt vid varje utförd transport, vilket de vanligen har i verkligheten då avläggarna ofta har högre kvantitet än enbart den faktiskt utförda transporten den veckan. Likaså gäller det samma med orderkvantiteten från mottagarna. Detta fel uppstår på grund av att inte alla lastbilar i det geografiska området ingår i studien och att optimeringen sker per vecka och inte över en längre period. Hade detta systematiska fel ingått i optimeringen, med en tvådelad fordonsflotta med varierad lastvikt, skulle det uppstå orimliga restkörningar för att tömma avläggarna och få in de kvarvarande kvantiteterna till mottagarna. På grund av denna begränsning valdes att låta både 64- och 74-tonsfordonen ha en lastvikt på 42 ton men som senare i resultatet räknades upp till studiens lastvikt för 74-tonsfordonen.

## 4.3 Jämförelse mot tidigare studier

Rådande studies syfte har inte tidigare analyserats och därför kan det fullständiga slutresultatet inte jämföras mot andra studier fullt ut. Den jämförelse som kan göras mot tidigare studier är den tappade potential ett begränsat BK4-vägnät ger. Med tanke på Andersson & Frisk (2013), Asmoarp, et al. (2013) och Laitila, et al. (2016) visar denna studie att ett begränsat vägnät minskar den potentiella koldioxidutsläppsreduceringen.

I Löf (2015) var slutsatsen att det svenska vägnätet är bäst anpassat för en flotta kombinerad av 60- och 74-tonsfordon, vilket överensstämmer till viss del med denna studies resultat. Rådande studie visade att vid en begränsning av BK4-vägnätet behövs

även 64-tonsfordon men att en begränsning av BK4-vägnätet ger sämre resultat än om BK4-vägnätet var detsamma som BK1-vägnätet.

Asmoarp, et al. (2013) studie visade en skillnad på 6,9–7,8% i medeltal på bränsleförbrukningen vid 50% lastkörningsgrad mellan ett konventionellt 60-tonsfordon och ett 74-tonsfordon. I rådande studie blev skillnaden mellan 64- och 74-tonsfordon i koldioxidutsläpp 3,0% i medeltal för båda veckorna (Tabell 6). Med den skillnaden i koldioxidutsläpp hade det varit intressant om en likvärdig studie som Asmoarp, et al. (2013) hade utförts fast med ett 64-tonsfordon istället för en 60-tons rundvirkeslastbil.

#### *4.4 Fortsatta studier*

Rundvirkeslastbilar är dyra och långsiktiga investeringar och därför är det viktigt för åkerier, åkeriföreningar och skogsbolag att veta hur de ska dimensionera sin fordonsflotta utifrån rådande och eventuellt framtida förutsättningar. Likaså är det viktigt för Trafikverket att veta hur den strategiska utbyggnaden av BK4-vägnätet ska ge största möjliga nytta av varje investerad krona. Således skulle fler liknande undersökningar behövas på fler områden och under ändrade förutsättningar för att ge en bra grund till beslut för berörda intressenter. Dessutom skulle ytterligare studier kunna kombineras med fler fordonstyper såsom 90, 70 och 68-tonsfordon.

#### *4.5 Slutsatser*

Studien visar att Trafikverkets BK4-vägnät kan ge stora begränsningar för 74-tonsfordonens ruttmöjligheter i en rundvirkesfordonsflotta. Det kan ge upp till 2% högre kostnader och 5,6% högre koldioxidutsläpp än en konventionell 64-tonsfordonsflotta. Ett mot Trafikverkets utökat begränsat BK4-vägnät ger upp till -1,1% i minskade kostnader och minskade koldioxidutsläpp med -1,0%. Ett viktigt resultat är att om andelen 74-tonsfordon är för hög, för det gällande BK4-vägnätet, kan det ge motsatt effekt. Därför är det viktigt att andelen 74-tonsfordon ska vara väl avvägt med det gällande BK4-vägnätet. Slutsatserna för denna studie är dock begränsade att endast gälla för de i studien analyserade fallen i geografiska området Värmlands län, nordvästra Västra Götalands län, Dalarnas län och Örebro län, med 24 lastbilar och med lastbilarnas ursprungliga intransporterade kvantitet.

## Litteraturförteckning

- Andersson, G., Flisberg, P. & Lidén, B., 2007. RuttOpt – A decision support system for routing of logging trucks, Uppsala & Bergen, Skogforsk & Norwegian School of Economics and Business Administration. (ISSN: 1500–4066)
- Andersson, G. & Frisk, M., 2013. Skogsbrukets transporter 2010, Uppsala: Skogforsk. (nr. 791–2013)
- Asmoarp, V. & Davidsson, A., 2016. Skogsbrukets transporter 2014, Uppsala: Skogforsk. (nr. 53–2016)
- Asmoarp, V., Edlund, J. & Jonsson, R., 2013. Fokusveckor 2013 – Bränsleuppföljning för två fordon inom ETTdemo-projektet, ST-kran och ST-grupp, Uppsala: Skogforsk. (nr. 803–2013)
- Asmoarp, V. & Jonsson, R., 2015. Fokusveckor 2014 Bränsleuppföljning för tre fordon inom ETT-projektet, ST-RME, ETT1 och ETT2, Uppsala: Skogforsk. (nr. 859–2015)
- Cordeau, J.-F.o.a., 2001. A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows. Journal of the Operational Research Society, Volym 52, pp. 928–936.
- Ejvegård, R., 2009. Vetenskaplig metod. 4:2 red. Lund: Studentlitteratur AB.
- Flisberg, P., Lidén, B. & Rönnqvist, M., 2009. A hybrid method based on linear programming and tabu search for routing of logging trucks, Computers & Operations Research, Volym. 36, pp. 1122–1144.
- Johansson, H. & Eklöf, H., 2015. Trafikverkets Kunskapsunderlag och Klimatscenario för Energieffektivisering och begränsad klimatpåverkan, Borlänge: Trafikverket. (nr. 2014:137)
- Laitila, J., Asikainen, A. & Ranta, T., 2016. Cost analysis of transporting forest chips and forest industry by-products with large truck-trailers in Finland. Biomass & Bioenergy, Volym 90, pp. 252–261.
- Lundgren, J., Rönnqvist, M. & Värbran, P., 2008. Optimeringslära. 3:1 red. Linköping: Författarna och Studentlitteratur.
- Löfroth, C., Ekstrand, M. & Rådström, L., 2005. Konsekvenser för skogsnäringen av Skatt på väg (SOU 2004:63), Uppsala: Skogforsk. (nr. 587–2005)
- Löfroth, C. & Svenson, G., 2010. ETT – Modulsystem för skogstransporter En Trave Till (ETT) och Större Travar (ST) DELRAPPORT FÖR DE TVÅ FÖRSTA ÅREN, Uppsala: Skogforsk. (nr. 723–2010)
- Lööf, M., 2015. En systemanalys av tyngre lastbilars påverkan på tågtransporter An analysis on the effects of heavier vehicles impact, Uppsala: SLU Inst. för skogens produkter. (Examensarbete nr. 161)

Miljö- och energidepartementet, 2016. Kontrollstation för de klimat- och energipolitiska målen till 2020 samt klimatanpassning (skr. 2015/16:87), Stockholm: Regeringen.  
Natanaelsson, K. & Ngo, P., 2015. Fördjupade analyser av att tillåta tyngre fordon på det allmänna vägnätet, Borlänge: Trafikverket. (nr. 2015:207)

Natanaelsson, K. & Ngo, P., 2016. Statliga vägar som kan anses lämpade för en ny bärighetsklass 4, Borlänge: Trafikverket. (nr. 2016:141)

Näringsdepartementet, 2016. Lagrådsremiss Godstrafikfrågor. Stockholm: Regeringen, 3 oktober 2016. Tillgänglig:  
<http://www.regeringen.se/4a7e12/contentassets/2a6d2634e7b64c4ca2bab615530d9ee4/godstrafikfragor> [Använd 14 december 2016]

Rönnqvist, M., Forsberg, M. & Frisk, M., 2005. FlowOpt - a decision support tool for strategic and tactical transportation planning in forestry. International Journal of Forest Engineering, vol. 16, no. 2, pp. 101–114., 16(2), pp. 101-114.

Svenska Dagbladet, 2016. Ministrar: Nu öppnar vi för tyngre lastbilar. [Online]  
Tillgänglig: <http://www.svd.se/ministrar-nu-oppnar-vi-for-tyngre-lastbilar/om/naringsliv:debatt>  
[Använd 5 oktober 2016].

Svenson, G., 2015. SÄNKTA TRANSPORTKOSTNADER MED KRÖNT VÄGVAL. Vision, nr 3, pp. 12–13.

Trafikanalys, 2015. Lastbilstrafik 2015 Swedish national road goods transport 2015, Stockholm: Trafikanalys. (nr. 2016:27)

SFS 1998:1276. Trafikförordning. Stockholm: Näringsdepartementet

Trafikverket, 2012. Trafikverkets arbete för energieffektivisering och begränsad klimatpåverkan, Borlänge: Trafikverket. (nr. 2014:137)

Trafikverket, 2016. Mål och inriktning för klimatarbetet. [Online]  
Tillgänglig: <http://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/Miljo-och-halsa/Klimat/Klimatmal-for-transportsektorn/>  
[Använd 21 september 2016].

Transportstyrelsen, 2014. Rapport om tyngre och längre fordonståg på det allmänna vägnätet, Norrköping: Transportstyrelsen. (TSV 2014–1419)

Transportstyrelsen, 2015. Kör- och vilotider Regler och vägledning mars 2015. Örebro: Transportstyrelsen [Broschyr].

### *Personlig kommunikation*

Victor Asmoarp, forskare Skogforsk, mejlkorrespondens den 14 januari 2017.

## Bilaga 1 Körd sträcka lastad och olastad per fordonstyp och fall

**Tabell B1.1.** Den körda sträckan olastad och lastad per fordonstyp och fall vecka 1

**Table B1.1.** Transported distance empty and loaded per vehicle type for week 1

Fall	Andel 74- tonsfordon (%)	Typfordon per lastad sträcka (km)		Fordonstyp per olastad sträcka (km)		Ej genomförda lass
		64 ton	74 ton	64 ton	74 ton	
Enbart 64- tonsfordon	0	41 454	0	36 994	0	0
Enbart 74- tonsfordon	100	0	41 454	0	36 994	0
Utökat BK4- vägnät 1	12,5	36 622	5122	32 321	5094	0
Utökat BK4- vägnät 1	25	32 336	9479	29 096	9072	0
Utökat BK4- vägnät 1	50	21 422	20 521	22 709	21 173	0
Utökat BK4- vägnät 1	75	11 363	25 821	11 702	25 488	42
Utökat BK4- vägnät 2	12,5	36 148	5495	30 842	5196	0
Utökat BK4- vägnät 2	25	31 382	10 230	27 451	9985	0
Utökat BK4- vägnät 2	50	22 586	19 187	24 069	18 483	0
Utökat BK4- vägnät 2	75	10 782	22 925	12 662	24 318	73
Trafikverkets BK4-vägnät	12,5	39 093	2477	37 110	3511	0
Trafikverkets BK4-vägnät	25	37 059	2570	34 012	3511	15
Trafikverkets BK4-vägnät	50	23 994	2570	21 306	3511	120
Trafikverkets BK4-vägnät	75	10 359	2570	10 321	3511	271

**Tabell B1.2.** Den körda sträckan olastad och lastad per fordonstyp och fall vecka 1**Table B1.2.** *Transported distance empty and loaded per vehicle type for week 1*

Fall	Andel 74- tonsfordon (%)	Typfordon per lastad sträcka (km)		Typfordon per olastad sträcka (km)		Ej genomförda lass
		64 ton	74 ton	64 ton	74 ton	
Enbart 64- tonsfordon	0	40 532	0	38 592	0	0
Enbart 74- tonsfordon	100	0	40 532	0	38 592	0
Utökat BK4- vägnät 1	12,5	35 164	5371	32 942	5629	0
Utökat BK4- vägnät 1	25	30 771	9823	31 374	9460	0
Utökat BK4- vägnät 1	50	21 499	19 237	24 098	18 425	5
Utökat BK4- vägnät 1	75	11 653	25 650	12 154	24 795	28
Utökat BK4- vägnät 2	12,5	35 223	5349	34 398	5275	0
Utökat BK4- vägnät 2	25	31 101	9458	29 654	9193	0
Utökat BK4- vägnät 2	50	21 482	19 413	25 495	18 920	0
Utökat BK4- vägnät 2	75	10 740	23 268	12 657	22 702	57
Trafikverkets BK4-vägnät	12,5	37 421	3812	37 715	4689	0
Trafikverkets BK4-vägnät	25	36 214	3413	35 239	4689	5
Trafikverkets BK4-vägnät	50	24 049	3413	21 782	4689	100
Trafikverkets BK4-vägnät	75	10 545	3413	10 295	4689	243

## Bilaga 2 RuttOpt formler

Formler och uttryck för RuttOpt har hämtats från Flisberg et al. (2009).

### **Beslutsvariabler**

$x_{ijvt}$ : flow from supply point  $i$  to demand point  $j$  using vehicle  $v$  in period  $t$

$\ell_{it}$ : storage at supply point  $i$  at the end of time period  $t$  ( $t = 0$  indicates initial supply)

$s_{jt}$ : volume of not fulfilled demand at demand point  $j$  in period  $t$

$h^+$ : total time to perform all transportations.

### **Index**

$V$ : Set of vehicles

$T$ : Set of time periods

$I$ : Set of supply points

$J$ : Set of demand points

### **Parametrar**

$d_{jt}^-$ : accumulated lower demand at demand point  $j$  in period  $t$

$d_{jt}^+$ : accumulated upper demand at demand point  $j$  in period  $t$

$C_{ijv}$ : unit transportation cost between supply point  $i$  and demand point  $j$  using vehicle  $v$

$p_{ij}$ : unit transportation (and loading/unloading) time between supply point  $i$  and demand point  $j$

$W_v$ : set of allowed links between supply and demand nodes for vehicle  $v$

$h_{vt}$ : % of total transportation time ( $h^+$ ) vehicle  $v$  is allowed to utilize in period  $t$

$M_{jt}$ : penalty for each ton of unfulfilled demand  $j$  in period  $t$

### **Målformulering LP-modell (Fas 1, steg 1)**

$$\min \sum_{t \in T} \sum_{v \in V} \sum_{(i,j) \in W_v} C_{ijv} x_{ijvt} + \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} M_{jt} s_{jt}$$

### **Bivillkor**

**Bivillkor 1:** state the supply and integration between time periods.

$$\ell_{i,t-1} + s_{it}^+ - \sum_{v \in V} \sum_{(i,j) \in W_v} x_{ijvt} = \ell_{it}, \quad \forall i \in I, t \in T,$$

**Bivillkor 2 och 3:** state the accumulated lower and upper bound of the demand, respectively. The penalty  $M_{jt}$  is high to ensure fulfillment of the demand if possible.

$$\sum_{v \in V} \sum_{p \in T, p \leq t} \sum_{(i,j) \in W_v} x_{ijvt} + s_{jt} \geq d_{jt}^-, \quad \forall i \in J, t \in T,$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{p \in T, p \leq t} \sum_{(i,j) \in W_v} x_{ijvt} \leq + s_{jt} \geq d_{jt}^+, \quad \forall i \in J, t \in T,$$

**Bivillkor 4 och 5:** provide the time capacity for each truck and time period. It is used to force all vehicles to have similar work levels in relation to the available time.

$$\sum_{t \in T} \sum_{v \in V} \sum_{(i,j) \in W_v} p_{ij} x_{ijvt} = h^+$$

$$\sum_{(i,j) \in W_v} p_{ij} x_{ijvt} \leq h_{vt} h^+, \quad \forall v \in V, t \in T,$$

**Bivillkor 6, 7 och 8:** are the nonnegative restrictions on the variables. The objective is to minimize the overall transportation cost including potential penalties and bonuses.

$$x_{ijvt} \geq 0, \quad \forall v \in V, (i,j) \in W_v, t \in T,$$

$$\ell_{it} \geq 0, \quad \forall i \in I, t \in T,$$

$$s_{jt} \geq 0, \quad \forall j \in J, t \in T.$$

### **Parametrar MIP-modell (Fas 1, steg 2)**

$I^s$ : set of supply points with supply left after deduction for the created transport nodes in step 1.

$J^s$ : set of demand points with demand left after deduction for the created transport nodes in step 1.

$$N = I^s \cup J^s$$

$L$ : set of supply levels, with  $L_0$  as the first level,  $L_n$  as the last (final) level, and  $L_m$  as all other levels



$B_0$ : set of arcs (with index  $i, j, l$ ) between nodes in first and second level, where  $i \in I^s, j \in I^s$ , and  $l \in L_0$

$B_m$ : set of arcs (with index  $i, j, l$ ) between nodes in all intermediate levels, where  $i \in I^s, j \in I^s$ , and  $l \in L_m$   $\in$

$B_n$ : set of arcs (with index  $i, j, l$ ) between nodes in the last level and the demand points, where  $i \in I^s, j \in J^s$ , and  $l \in L_n$

$$B = B_0 \cup B_m \cup B_n$$

$b^1$ : the level before level  $l$

$s_i^s$ : remaining supply at node  $i$ , where  $i \in I^s$

$d_j^s$ : remaining demand at node  $j$ , where  $j \in J^s$

$c_{ij}^s$ : cost of using arc from node  $i$  to node  $j$  where  $i \in I^s$  and  $j \in N$

$C_\varepsilon$ : small cost for flow on an arc

$M^+$ : upper bound on one truckload

$M_l$ : lower bound on one truckload (if the arc is used)

**Beslutsvariabler MIP-modell (Fas 1, steg 2)**

$y_{ijl}^s$ : flow from node  $i$  to node  $j$ , starting at level  $l$  where  $(i, j, l) \in B$

$z_{ijl}^s$ : number of truckloads (integer) to be transported on the arc from node  $i$  to node  $j$  starting at level  $l$

**Målformulering MIP-modell (Fas 1, steg 2)**

$$\min \sum_{(i,j,l) \in B} (c_{ij}^s z_{ijl}^s + c_\varepsilon z_{ijl}^s)$$

**Bivillkor MIP-modell (Fas 1, steg 2)**

**Bivillkor 9 och 10:** bivillkor (9) state the supply and (10) the demand.

$$\sum_{(j,l):(i,j,l) \in B_0} y_{ijl}^s \leq s_i^s, \quad \forall i \in I^s$$

$$\sum_{(j,l):(i,j,l) \in B_0} y_{ijl}^s \geq d_j^s, \quad \forall j \in J^s$$

**Bivillkor 11 och 12:** Bivillkor (11) state the node balance flow and (12) the node balance in integer truckloads.

$$\sum_{j \in I^s: (j,i,b^1) \in B} y_{jib^1}^s = \sum_{j \in N: (i,j,l) \in B} y_{ijl}^s, \quad \forall i \in I^s, l \in L_m \cup L_n,$$

$$\sum_{j \in I^s: (j,i,b^1) \in B} z_{jib^1}^s = \sum_{j \in N: (i,j,l) \in B} z_{ijl}^s, \quad \forall i \in I^s, l \in L_m \cup L_n,$$

**Bivillkor 13 och 14:** Bivillkor (13) and (14) provide the link between truckloads and flow. bivillkor (14) force the flow from the final supply point in a transport node to a demand point to be full truckloads ( $M^+$ ) except for the last load which has to be a load of at least  $M_l$  tons.

$$y_{ijl}^s \leq M^+ z_{ijl}^s, \quad \forall (i,j,l) \in B,$$

$$y_{ijl}^s \geq M^+ z_{ijl}^s - M^+ + M_l, \quad \forall (i,j,l) \in B_n,$$

**Bivillkor 15 och 16:** bivillkor (15) are the nonnegativity constraints on the y-variables and (16) the non negative integer restrictions on truckloads. The objective is to minimize the cost of designing the truckloads.

$$y_{ijl}^s \geq 0, \quad \forall (i,j,l) \in B,$$

$$z_{ijl}^s \geq 0, \quad \text{integer}, \quad \forall (i,j,l) \in B.$$